

# **Buku Panduan Biomassa Asia**

## **Panduan untuk Produksi dan Pemanfaatan Biomassa**

**Proyek Bantuan untuk Pembangunan Kerjasama Asia  
untuk Pertanian Sadar Lingkungan,  
Dipertanggungjawabkan oleh Kementerian Pertanian,  
Kehutanan, dan Perikanan**

**The Japan Institute of Energy**

Buku panduan ini telah diedit sebagai bagian dari proyek yang dipertanggungjawabkan oleh Kementerian Pertanian, Kehutanan, dan Perikanan, Jepang, dengan bantuan Asosiasi Biomassa Asia.

## **Kata Pengantar**

Suatu kebahagiaan dan kehormatan bagi saya karena diberikan peluang untuk menulis sepatah dua kata di dalam Buku Panduan Biomassa ini. Pada tahun 2002, kami telah menerbitkan Buku Panduan Biomassa edisi Bahasa Jepang dengan bantuan lebih dari 60 penyumbang yang merupakan pakar terkemuka di bidang ini. Pada kali ini, versi Bahasa Indonesia telah dihasilkan berkat kerjasama para ahli sains dan teknologi dari berbagai negara Asia dan para penyumbang domestik.

Seperti kita ketahui, dampak negatif dari pemanasan global saat ini semakin signifikan. Karbon dioksida yang dilepaskan dari hasil pembakaran bahan bakar fosil terakumulasi di atmosfer selama kita menggunakan batu bara, petroleum, dan gas alam. Di sisi lain, jelas bahwa umur bahan bakar fosil terbatas, sebagai contoh, umur, rasio cadangan yang dibagi dengan produksi petroleum, batu bara, dan gas alam adalah berturut-turut sekitar 41, 160, dan 65 tahun. Saya percaya bahwa kita saat ini berada di ambang zaman baru yang tidak bergantung pada bahan bakar fosil dan biomassa merupakan sumber utama untuk membuka pandangan kita di masa yang akan datang.

Biomassa secara umum bermakna jumlah keseluruhan sumber daya alam yang dapat dimanfaatkan dalam bentuk energi dan bahan. Kayu, rumput, alga laut, mikroalga, limbah pertanian, limbah perhutanan, dan limbah rumah tangga adalah termasuk kategori ini. Tanaman energi merupakan salah satu biomassa menjanjikan yang memungkinkan untuk membuat perkebunan energi skala besar, walaupun belum dikomersialkan saat ini.

Salah satu langkah untuk mengurangi emisi gas karbon dioksida ialah melalui pengenalan energi terbarukan. Energi terbarukan merupakan energi biomassa, fotovoltan, geotermal, angin, hidro, ombak, dan gelombang. Bagaimana biomassa berbeda dari energi terbarukan lainnya?

Biomassa membentuk bagiannya sendiri melalui fotosintesis. Konsentrasi gas karbon dioksida di atmosfer tidak akan berubah selama karbon dioksida yang dilepaskan oleh pembakaran biomassa setelah pemanfaatan energi dikembalikan semula, seperti pada proses reforestrasi. Ini disebut netralitas karbon biomassa. Energi yang menggantikan bahan bakar fosil dapat diperoleh dari siklus, yaitu pembakaran biomassa, emisi karbon dioksida, dan refiksasi karbon dioksida. Oleh karena itu, emisi karbon dioksida dapat direduksi dengan cara mengganti bahan bakar fosil dengan biomassa.

Biomassa adalah satu-satunya bahan organik atau bahan berkarbon di antara energi terbarukan. Dengan kata lain, etanol, metanol, dimetil eter, dan hidrokarbon hanya dapat diperoleh dari biomassa dari pada energi terbarukan. Hal ini memiliki arti bahwa biomassa dapat diangkut dan disimpan dalam bentuk bahan. Sangat penting untuk ditekankan bahwa energi angin, fotovoltan, ombak, dan gelombang dapat menghasilkan panas atau energi tetapi bukan bahan kimia atau bahan bakar. Akan tetapi, karbon dioksida yang dihasilkan dari pemanfaatan biomassa akan diakumulasi secara irreversible ke atmosfer dengan cara yang sama dengan pemanfaatan

bahan bakar fosil kecuali perhutanan kembali (reforestasi) dijalankan. Manajemen kehutanan yang berkelanjutan sangatlah penting untuk suplai bioenergi yang lama dan stabil.

Buku Panduan Biomassa ini berkaitan dengan karakteristik dan sumber daya biomassa, konversi termokimia dan biokimia biomassa, dan pengembangan sistem keberlanjutan. Namun, aspek yang paling penting adalah kontribusi banyak pakar dari negara-negara Asia seperti Brunai, Kamboja, Cina, India, Indonesia, Korea, Malaysia, Myanmar, Filipina, Singapura, Cina Taipei, Thailand, dan Vietnam. Saya sangat menghargai semua individu yang telah berkontribusi pada buku panduan ini. Saya juga mengucapkan penghargaan kepada Kementerian Pertanian, Kehutanan, dan Perikanan yang telah memberikan peluang untuk menerbitkan buku panduan ini melalui bantuan keuangan.

Januari 2008  
Ketua Editor  
Shinya Yokoyama

## Editor

Yokayama, Shinya  
Matsumura, Yukihiko

The University of Tokyo, Japan  
Hiroshima University, Japan

## Editor Peninjau

Ando, Shotaro

National Agriculture and Food Organizations , National  
Institute of Livestock and Grassland Science, Japan

Shakanishi, Kinya

National Institute of Advanced Industrial Science and  
Technology, Japan

Sano, Hiroshi

Lab. Ofico de Global-Energi-Sistemo, Japan

Minowa, Tomoaki

National Institute of Advanced Industrial Science and  
Technology, Japan

Yamamoto, Hiromi

Central Research Institute of Electric Power Industry,  
Japan

Yoshioka, Takuyuki

Nihon University, Japan

## Dewan Penasehat

Kitano, Osamu

Nihon University, Japan

Saka, Shiro

Kyoto University, Japan

Shirai, Yoshihito

Kyushu Institute of Technology, Japan

Yamaji, Kenji

The University of Tokyo, Japan

## Penyumbang

Abe, Toshimi

The Chugoku Electric Power Co. Inc., Japan

Amano, Masahiro

Waseda University, Japan

Ando, Shotaro

National Agriculture and Food Research Organization,  
Japan

Arai, Yoshiaki

Meidensya Corporation, Japan

Cai, Yimin

National Agriculture and Food Research Organization,  
National Institute of Livestock and Grassland Science,  
Japan

Chollacoop, Nuwaong

National Metal and Materials Technology Center,  
NSTDA, Thailand

Elauria, Jessie Cansanay

University of the Philippines Los Banos, Philippines

Fukui, Hisatomo

Kajima Corporation, Japan

Fujii, Shigeo

Takuma Co., Ltd, Japan

Fujino, Junichi

National Institute for Environmental Studies, Japan

Hada, Kenichiro

Mizuho Information & Research Institute, Inc., Japan

Hirata, Satoshi

Kawasaki Heavy Industries, Ltd, Japan

Hoki, Makoto

Mie University, Japan

Kamide, Mitsushi

Hokkaido Industrial Research Institute, Japan

Kawamoto, Sumire

Forestry and Forest Products Research Institute, Japan

Kitani, Osamu

Nihon University, Japan

Lee, Jin-Suk

Korea Institute of Energy Research, Korea

Liang, David Tee

Nanyang Technological Universit Innovation Center,

|                         |   |
|-------------------------|---|
|                         | Singapore   |
| Liu, Dehua              | Tsinghua University, China  |
| Malaykham, Bouathep     | Ministry of Energy and Mines, Laos  |
| Man, Tran Dinh          | Institute of Biotechnology, VAST, Vietnam   |
| Matsuto, Toshihiko      | Hokkaido University, Japan  |
| Matsumura, Yukihiko     | Hiroshima University, Japan   |
| Miura, Masakatsu        | National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Japan   |
| Minowa, Tomoaki         | National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Japan   |
| Mohamad, Ali Hassan     | University Putra, Malaysia  |
| Nakagawa, Hitoshi       | National Institute of Agrobiological Science, Japan   |
| Nakamata, Keiichi       | Hokuestu Paper Mills, Ltd, Japan  |
| Nivitchanyong, Siriluck | National Metal and Materials Technology Center, NSTDA, Thailand   |
| Ogi, Tomoko             | National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Japan   |
| Osada, Takashi          | National Agriculture and Food Research Organization, National Agricultural Research Center for Hokkaido Region, Japan |
| Panaka, Petrus          | PT Gikoko Kogyo, Indonesia  |
| Saiki, Takashi          | Japan Alcohol Association, Japan  |
| Saka, Shiro             | Kyoto University, Japan   |
| Sakai, Masayasu         | Nagasaki Institute of Applied Science, Japan  |
| Smai, Jai-in            | National Metal and Materials Technology Center, NSTDA, Thailand   |
| Sana, Hiroshi           | Lab. ofico de Global-Energi-Sistemo, Japan  |
| Sawayama, Shigeki       | National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Japan   |
| Shiau, Tzay-An          | National Taiwan Ocean University, Taipei Chinese  |
| Shirai, Yoshihito       | Kyushu Institute of Technology, Japan   |
| Sovanna, Toch           | Ministry of Industrial Mines and Energy, Cambodia   |
| Suzuki, Tsutomu         | Kitami Institute of Technology, Japan   |
| Sekiguchi, Shizuo       | Lion Corporation, Japan   |
| Takahashi, Masayuki     | Kochi University, Japan   |
| Tonosaki, Mario         | Forestry and Forest Products Research Institute, Japan  |
| Tomari, Miyuki          | Biomass Industrial Society Network (BIN), NPO, Japan  |
| Topaiboul, Subongkoj    | National Metal and Materials Technology Center, NSTDA, Thailand   |
| Yagishita, Tatsuo       | National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Japan   |
| Yagita, Hiroshi         | Nippon Institute of Technology, Japan   |
| Yamamoto, Hiromi        | Central Research Institute of Electric Power Industry, Japan  |
| Yamamoto, Kazutaka      | National Agriculture and Food Research Organization, National Food Research Institute, Japan                          |

Yamamoto, Susumu  
Yokoyama, Shinya  
Yoshioka, Takuyuki

Okayama University, Japan  
The University of Tokyo, Japan  
Nihon University, Japan

## Daftar Isi

|   |    |
|---|----|
| 1. Manfaat penggunaan biomassa.....   | 1  |
| 1.1 Manfaat biomassa.....   | 1  |
| 1.1.1 Apa itu biomassa?.....  | 1  |
| 1.2 Karakteristik biomassa.....   | 3  |
| 1.2.1 Ruang lingkup.....  | 3  |
| 1.2.2 Terbaharui.....   | 4  |
| 1.2.3 Netral karbon.....  | 5  |
| 1.2.4 Pertanian berkelanjutan.....  | 5  |
| 1.3 Bagaimana memanfaatkan biomassa.....  | 7  |
| 1.3.1 Ruang lingkup.....  | 7  |
| 1.3.2 Konversi dan pemanfaatan.....   | 9  |
| 1.4 Manfaat penggunaan biomassa.....  | 11 |
| 1.4.1 Ruang lingkup.....  | 11 |
| 1.4.2 Depleksi minyak bumi.....   | 11 |
| 1.4.3 Pemanasan global.....   | 12 |
| 1.4.4 Perbaikan taraf hidup.....  | 13 |
| 1.4.5 Peningkatan pendapatan petani.....  | 13 |
| 1.4.6 Keamanan energi.....  | 13 |
| 1.4.7 Mata uang asing.....  | 14 |
| 2. Sumber daya biomassa.....  | 15 |
| 2.1 Klasifikasi biomassa.....   | 15 |
| 2.1.1 Definisi biomassa.....  | 15 |
| 2.1.2 Definisi biomassa (energi) dari segi hukum.....                           | 15 |
| 2.1.3 Karakteristik energi biomassa.....  | 16 |
| 2.1.4 Kategori biomassa.....  | 16 |
| 2.1.5 Contoh pengkategorian biomassa (berdasarkan penggunaan dan aplikasi)..... | 17 |
| 2.2 Availibilitas biomassa.....   | 19 |
| 2.2.1 Estimasi potensi limbah biomassa.....                                     | 19 |
| 2.3 Komposisi biomassa.....   | 24 |
| 2.3.1 Tinjauan komposisi biomassa.....  | 24 |
| 2.3.2 Komponen khas biomassa.....   | 24 |
| 2.3.3 Analisis komponen biomassa.....   | 26 |
| 2.4 Kandungan energi biomassa.....  | 28 |
| 2.4.1 Indikator kandungan energi biomassa.....                                  | 28 |
| 2.4.2 Nilai kalor beberapa jenis biomassa.....                                  | 29 |
| 2.4.3 Estimasi nilai kalor secara perhitungan.....                              | 31 |
| 2.5 Siklus karbon.....  | 32 |
| 2.5.1 Anggaran karbon global.....   | 33 |
| 2.5.2 Siklus karbon dalam ekosistem hutan.....                                  | 34 |
| 2.5.3 Model siklus karbon.....  | 35 |
| 2.6 Biomassa kayu.....  | 35 |

|   |    |
|---|----|
| 2.6.1 Jenis bahan biomassa berkayu dan karakteristiknya .....         | 35 |
| 2.6.2 Laju pertumbuhan .....  | 36 |
| 2.6.3 Sumber biomassa berkayu .....                                   | 38 |
| 2.7 Biomassa herba .....  | 39 |
| 2.7.1 Arti biomassa herba .....                                       | 39 |
| 2.7.2 Spesies C3 dan C4 .....   | 39 |
| 2.7.3 Produksi primer dan sejumlah biomassa herba yang tersedia ..... | 41 |
| 2.7.4 Rumput switch .....   | 42 |
| 2.8 Tanaman gula dan pati .....                                       | 46 |
| 2.8.1 Ruang lingkup tanaman gula dan pati .....                       | 46 |
| 2.8.2 Ubi kayu .....  | 47 |
| 2.8.3 Tebu .....  | 48 |
| 2.9 Biomassa penghasil minyak .....                                   | 50 |
| 2.9.1 Apa itu biomassa penghasil minyak? .....                        | 50 |
| 2.9.2 Metode produksi lemak dan minyak .....                          | 51 |
| 2.9.3 Volume produksi biomassa penghasil minyak .....                 | 51 |
| 2.9.4 Bahan bakar biodiesel .....                                     | 52 |
| 2.9.5 Kelapa sawit .....  | 52 |
| 2.9.6 Kelapa .....  | 53 |
| 2.9.7 Jarak pagar .....   | 57 |
| 2.10 Biomassa tanaman air .....                                       | 59 |
| 2.10.1 Apa itu biomassa tanaman air? .....                            | 59 |
| 2.10.2 Produktivitas .....  | 60 |
| 2.10.3 Pemanfaatan praktis sumber daya terkini .....                  | 60 |
| 2.10.4 Massa berdiri sumber daya biomassa .....                       | 63 |
| 2.11 Residu pertanian .....   | 64 |
| 2.11.1 Jenis dan ciri residu pertanian .....                          | 64 |
| 2.11.2 Volume produksi .....  | 65 |
| 2.11.3 Potensi bioenergi dunia .....                                  | 65 |
| 2.12 Residual kayu .....  | 66 |
| 2.12.1 Karakteristik dan signifikan lingkungan .....                  | 66 |
| 2.12.2 Residu dari industri kayu .....                                | 67 |
| 2.12.3 Residu dari pemanfaatan kayu .....                             | 69 |
| 2.12.4 Teknologi pemanfaatan energi .....                             | 69 |
| 2.13 Limbah hewan .....   | 70 |
| 2.13.1 Apa itu limbah hewan? .....                                    | 70 |
| 2.13.2 Karakteristik limbah hewan .....                               | 71 |
| 2.13.3 Produksi limbah hewan .....                                    | 72 |
| 2.13.4 Perlakuan umum dan penggunaan limbah hewan .....               | 72 |
| 2.13.5 Nilai dan total limbah hewan di dunia .....                    | 73 |
| 2.14 Lumpur limbah .....  | 74 |
| 2.14.1 Apa itu lumpur limbah? .....                                   | 74 |
| 2.14.2 Jenis dan karakteristik lumpur limbah .....                    | 74 |

|  |     |
|--|-----|
| 2.14.3 Pemanfaatan lumpur limbah .....                               | 75  |
| 2.15 Limbah padat kota .....   | 77  |
| 2.15.1 Pemulihan metana pada timbunan tanah .....                    | 77  |
| 2.15.2 Biogasifikasi (fermentasi metana) .....                       | 78  |
| 2.15.3 Pembakaran dengan pemulihan energi .....                      | 79  |
| 2.15.4 Produksi bahan bakar dari sampah dan pembangkit listrik ..... | 79  |
| 2.15.5 Pirolisis .....   | 80  |
| 2.16 Lindi hitam .....   | 82  |
| 2.16.1 Lindi hitam .....   | 82  |
| 2.16.2 Proses perolehan lindi hitam .....                            | 82  |
| 2.16.3 Karakteristik dan signifikansi lindi hitam .....              | 84  |
| 2.17 Limbah sisa pengolahan makanan .....                            | 85  |
| 2.17.1 Potensi limbah sisa pengolahan makanan .....                  | 85  |
| 2.17.2 Ampas tebu .....  | 87  |
| 2.17.3 Tongkol jagung .....  | 88  |
| 2.17.4 Molases .....   | 90  |
| 3. Konversi fisis biomassa .....                                     | 92  |
| 3.1 Kayu bakar .....   | 92  |
| 3.1.1 Ruang lingkup .....  | 92  |
| 3.1.2 Pasokan kayu bakar .....                                       | 93  |
| 3.1.3 Pemanfaatan kayu bakar .....                                   | 95  |
| 3.2 Pemeletan .....  | 96  |
| 3.2.1 Apa itu pelet dan pemeletan? .....                             | 96  |
| 3.2.2 Karakteristik pelet dan CCB .....                              | 99  |
| 3.2.3 Uji dasar untuk pembuatan briket .....                         | 100 |
| 3.2.4 Efisiensi energi .....   | 101 |
| 3.3 Produksi papan partikel .....                                    | 102 |
| 3.3.1 Papan partikel .....   | 102 |
| 3.3.2 Produksi dan konsumsi papan partikel .....                     | 103 |
| 3.3.3 Pembuatan papan partikel .....                                 | 103 |
| 3.3.4 Penggunaan papan partikel untuk bahan daur ulang bahan .....   | 104 |
| 3.3.5 Statistika biomassa kayu termasuk panel bebahan kayu .....     | 105 |
| 3.3.6 Aplikasi di Asia .....   | 105 |
| 4. Konversi termokimia biomassa .....                                | 107 |
| 4.1 Pembakaran .....   | 107 |
| 4.1.1 Ruang lingkup .....  | 107 |
| 4.1.2 CHP .....  | 110 |
| 4.1.3 Ko-pembakaran .....  | 112 |
| 4.2 Gasifikasi .....   | 115 |
| 4.2.1 Definisi .....   | 115 |
| 4.2.2 Klasifikasi metode gasifikasi .....                            | 115 |
| 4.2.3 Pemeriksaan sifat bahan biomassa .....                         | 115 |
| 4.2.4 Agen gasifikasi .....  | 116 |

|   |     |
|---|-----|
| 4.2.5 Fenomena penting pada gasifikasi biomassa ..... | 116 |
| 4.2.6 Karakteristik gas produk gasifikasi .....       | 117 |
| 4.2.7 Peralatan gasifikasi dan contoh praktis .....   | 118 |
| 4.3 Pirolisis .....                                   | 119 |
| 4.3.1 Apa itu pirolisis? .....                        | 119 |
| 4.3.2 Karakteristik pirolisis .....                   | 119 |
| 4.3.3 Reaktor skala laboratorium .....                | 120 |
| 4.3.4 Reaktor di R&D .....                            | 120 |
| 4.3.5 Produk .....                                    | 121 |
| 4.3.6 Status teknologi .....                          | 121 |
| 4.4 Karbonisasi .....                                 | 122 |
| 4.4.1 Apa itu karbonisasi? .....                      | 122 |
| 4.4.2 Karakteristik karbonisasi .....                 | 122 |
| 4.4.3 Reaksi karbonisasi .....                        | 123 |
| 4.4.4 Efisiensi energi karbonisasi .....              | 124 |
| 4.4.5 Produk karbonisasi .....                        | 125 |
| 4.4.6 Status-quo teknologi .....                      | 125 |
| 4.5 Gasifikasi hidrotermal .....                      | 126 |
| 4.5.1 Apa itu gasifikasi hidrotermal? .....           | 126 |
| 4.5.2 Karakteristik gasifikasi hidrotermal .....      | 126 |
| 4.5.3 Reaktor untuk gasifikasi hidrotermal .....      | 127 |
| 4.5.4 Efisiensi energi gasifikasi hidrotermal .....   | 127 |
| 4.5.5 Produk gasifikasi hidrotermal .....             | 128 |
| 4.5.6 Status-quo teknologi .....                      | 128 |
| 4.6 Pencairan hidrotermal .....                       | 129 |
| 4.6.1 Apa itu pencairan hidrotermal? .....            | 129 |
| 4.6.2 Karakteristik pencairan hidrotermal .....       | 129 |
| 4.6.3 Skema reaksi pencairan hidrotermal .....        | 130 |
| 4.6.4 Produk minyak dari pencairan hidrotermal .....  | 130 |
| 4.6.5 Efisiensi energi pencairan hidrotermal .....    | 131 |
| 4.6.6 Status-quo teknologi .....                      | 131 |
| 4.7 Produksi biodiesel .....                          | 132 |
| 4.7.1 Apa itu produksi biodiesel .....                | 132 |
| 4.7.2 Karakteristik produksi biodiesel .....          | 132 |
| 4.7.3 Reaktor produksi biodiesel .....                | 132 |
| 4.7.4 Energi efisiensi produksi biodiesel .....       | 134 |
| 4.7.5 Status quo teknologi .....                      | 134 |
| 5. Konversi biokimia biomassa .....                   | 135 |
| 5.1 Biometanasi .....                                 | 135 |
| 5.1.1 Apa itu biometanasi? .....                      | 135 |
| 5.1.2 Ciri biometanasi .....                          | 135 |
| 5.1.3 Mekanisme biometanasi .....                     | 135 |
| 5.1.4 Status terkini .....                            | 137 |

|   |     |
|---|-----|
| 5.2 Fermentasi etanol .....                                   | 138 |
| 5.2.1 Lingkup umum .....                                      | 138 |
| 5.2.2. Fermentasi etanol dari bahan sakarin .....             | 140 |
| 5.2.3 Fermentasi etanol dari pati .....                       | 141 |
| 5.2.4 Fermentasi etanol dari lignoselulosa .....              | 143 |
| 5.3 Fermentasi aseton-butanol .....                           | 145 |
| 5.3.1 Apa itu fermentasi aseton-butanol? .....                | 145 |
| 5.3.2 Karakteristik fermentasi aseton-butanol .....           | 145 |
| 5.3.3 Reaksi fermentasi aseton-butanol .....                  | 145 |
| 5.3.4 Efisiensi energi fermentasi aseton-butanol .....        | 146 |
| 5.3.5 Produk fermentasi aseton-butanol .....                  | 146 |
| 5.4 Fermentasi hidrogen .....                                 | 148 |
| 5.4.1 Apa itu fermentasi hidrogen? .....                      | 148 |
| 5.4.2 Karakteristik fermentasi hidrogen .....                 | 148 |
| 5.4.3 Reaksi fermentasi hidrogen .....                        | 148 |
| 5.4.4 Efisiensi energi fermentasi hidrogen .....              | 149 |
| 5.4.5 Produk fermentasi hidrogen .....                        | 150 |
| 5.5 Fermentasi asam laktat .....                              | 151 |
| 5.5.1 Apa itu fermentasi asam laktat .....                    | 151 |
| 5.5.2 Bakteri asam laktat .....                               | 151 |
| 5.5.3 Sumber daya biomassa untuk fermentasi asam laktat ..... | 152 |
| 5.5.4 Pemanfaatan biomassa dari industri kelapa sawit .....   | 153 |
| 5.5.5 Fermentasi asam laktat dari sampah rumah tangga .....   | 153 |
| 5.5.6 Pemurnian asam laktat .....                             | 154 |
| 5.6 Silase .....  | 155 |
| 5.6.1 Apa itu silase? .....                                   | 155 |
| 5.6.2 Pembuatan silase .....                                  | 156 |
| 5.6.3 Fermentasi silase .....                                 | 156 |
| 5.6.4 Bal gulungan silase .....                               | 157 |
| 5.6.5 Kekinian teknologi .....                                | 157 |
| 5.7 Pengomposan .....   | 158 |
| 5.7.1 Apa itu pengomposan? .....                              | 158 |
| 5.7.2 Prinsip dasar pengomposan .....                         | 158 |
| 5.7.3 Unsur dasar pengomposan .....                           | 159 |
| 5.7.4 Teknologi pengomposan saat ini .....                    | 160 |
| 6. Pengembangan sistem untuk keberlanjutan .....              | 162 |
| 6.1 Dasar-dasar LCA .....                                     | 162 |
| 6.1.1. Garis besar penilaian daur hidup .....                 | 162 |
| 6.1.2 Pendefinisian tujuan dan ruang lingkup .....            | 163 |
| 6.1.3 Analisis siklus hidup persediaan (LCI) .....            | 163 |
| 6.1.4 Siklus hidup penilaian dampak (LCIA) .....              | 164 |
| 6.1.5 Interpretasi .....                                      | 166 |
| 6.2 Efisiensi energi .....                                    | 167 |

|  |     |
|--|-----|
| 6.2.1 Konsumsi energi untuk budidaya dan panen biomassa .....                          | 167 |
| 6.2.2 Konsumsi energi pra perlakuan untuk konversi energi biomassa .....               | 169 |
| 6.2.3 Perbandingan efisiensi energi antara energi biomassa dan bahan bakar fosil ..... | 169 |
| 6.3 Emisi karbon dioksida dan dampak lingkungan .....                                  | 171 |
| 6.3.1 Emisi CO <sub>2</sub> biomassa .....   | 171 |
| 6.3.2 Perbandingan antara pembangkit listrik biomassa dengan lainnya .....             | 172 |
| 6.3.3 Dampak lingkungan dari biomassa .....  | 174 |
| 6.4 Evaluasi ekonomi bioenergi .....   | 175 |
| 6.4.1 Biaya bioenergi .....  | 175 |
| 6.4.2 Biaya sumber daya bioenergi .....  | 175 |
| 6.4.3 Biaya teknologi konversi biomassa .....  | 176 |
| 6.4.4 Biaya energi sekunder .....  | 177 |
| 6.5 Evaluasi lain .....  | 178 |
| 6.5.1 Standar hidup .....  | 178 |
| 6.5.2 Penghasilan petani .....   | 179 |
| 6.5.3 Keamanan energi dan mata uang asing .....  | 181 |
| 6.6 Masalah yang harus dipertimbangkan .....   | 182 |
| 6.6.1 Keanekaragaman hayati (sebagai contoh produksi minyak kelapa sawit) .....        | 182 |
| 6.6.2 Kompetisi penggunaan lahan .....   | 184 |
| 6.7 Model energi .....   | 185 |
| 6.7.1 Garis besar model energi .....   | 185 |
| 6.7.2 Model umum energi .....  | 186 |
| 6.7.3 Model DNE21 .....  | 186 |
| 6.7.4 Model GLUE .....   | 186 |
| 6.7.5 Kompetisi penggunaan lahan dalam model GLUE .....                                | 187 |
| 7. Situasi Biomassa di negara-negara Asia .....  | 188 |
| 7.1 Cina .....   | 188 |
| 7.2 Korea .....  | 190 |
| 7.3 Myanmar .....  | 193 |
| 7.4 Laos .....   | 196 |
| 7.5 Brunei Darussaalam .....   | 198 |
| 7.6 Indonesia .....  | 201 |
| 7.7 Kamboja .....  | 205 |
| 7.8 Malaysia .....   | 208 |
| 7.9 Filipina .....   | 213 |
| 7.10 Singapura .....   | 216 |
| 7.11 Thailand .....  | 217 |
| 7.12 Vietnam .....   | 220 |
| 7.13 Jepang .....  | 222 |
| 7.14 Cina Taipei .....   | 224 |
| 8. Contoh pemanfaatan biomassa .....   | 226 |
| 8.1 Biometanasi skala kecil .....  | 226 |
| 8.1.1 Apa itu biometana dan biometanasi? .....   | 226 |

|  |     |
|--|-----|
| 8.1.2 Situasi biometana di Cina .....                                  | 226 |
| 8.1.3 Karakteristik biometanasi skala kecil .....                      | 227 |
| 8.1.4 Proses biometanasi skala kecil .....                             | 228 |
| 8.1.5 Pasokan energi biometanasi skala kecil .....                     | 228 |
| 8.2 Biometanasi skala besar .....                                      | 229 |
| 8.2.1 Pengenalan biometanasi skala besar .....                         | 229 |
| 8.2.2 Sistem pencernaan anaerobik skala besar .....                    | 229 |
| 8.2.3 Contoh sistem pencernaan anaerobik skala besar .....             | 232 |
| 8.3 Perkebunan jarak pagar .....                                       | 234 |
| 8.3.1 Budi daya jarak pagar .....                                      | 234 |
| 8.3.2 Metode propagasi .....   | 235 |
| 8.3.3 Biodiesel jarak pagar .....                                      | 236 |
| 8.4 Pembangkit listrik dari sekam padi .....                           | 238 |
| 8.4.1 Promosi produksi energi di Thailand .....                        | 238 |
| 8.4.2 Pusat pembangkit listrik di Thailand .....                       | 239 |
| 8.4.3 Teknologi gasifikasi untuk sekam padi .....                      | 239 |
| 8.5 Produksi etanol .....  | 241 |
| 8.5.1 Bahan baku apa yang baik untuk produksi etanol? .....            | 241 |
| 8.5.2 Bahan baku biomassa lignoselulosa untuk etanol di Thailand ..... | 242 |
| 8.5.3 Pelopor kerja R&D untuk pemrosesan .....                         | 243 |
| Lampiran .....   | 245 |
| A1. Deklarasi Tokyo mengenai Biomassa Asia .....                       | 246 |
| A2. Protokol Kyoto .....   | 261 |
| A3. Statistika di negara-negara Asia .....                             | 318 |
| A4. Konversi satuan .....  | 319 |
| A5. Bobot atom .....   | 335 |
| A6. Sifat termodinamika .....  | 339 |
| A7. Nilai kalor bahan bakar fosil dan waktu hidup .....                | 343 |
| A8. Kerangka kerja APEC .....  | 344 |
| A9. Target setiap negara .....   | 345 |
| A10. Sejarah terkait .....   | 347 |
| A11. Bahasa setiap negara .....  | 348 |
| A12. Buku terkait .....  | 349 |

# Bab 1. Manfaat penggunaan biomassa

## 1.1. Manfaat Biomassa

### 1.1.1. Apa itu Biomassa?

Secara umum biomassa merupakan bahan yang dapat diperoleh dari tanaman baik secara langsung maupun tidak langsung dan dimanfaatkan sebagai energi atau bahan dalam jumlah yang besar. “Secara tidak langsung” mengacu pada produk yang diperoleh melalui peternakan dan industri makanan. Biomassa disebut juga sebagai “fitomassa” dan seringkali diterjemahkan sebagai bioresource atau sumber daya yang diperoleh dari hayati. Basis sumber daya meliputi ratusan dan ribuan spesies tanaman, daratan dan lautan, berbagai sumber pertanian, perhutanan, dan limbah residu dan proses industri, limbah dan kotoran hewan. Tanaman energi yang membuat perkebunan energi skala besar akan menjadi salah satu biomassa yang menjanjikan, walaupun belum dikomersialkan pada saat ini. Biomassa secara spesifik berarti kayu, rumput Napier, rapeseed, eceng gondok, rumput laut raksasa, chlorella, serbuk gergaji, serpihan kayu, jerami, sekam padi, sampah dapur, lumpur pulp, kotoran hewan, dan lain-lain. Biomass jenis perkebunan seperti kayu putih, poplar hibrid, kelapa sawit, tebu, rumput gajah, dan lain-lain adalah termasuk kategori ini.

Menurut Kamus Bahasa Inggris Oxford, istilah “biomassa” pertama kali muncul di literatur pada tahun 1934. Di dalam *Journal of Marine Biology Association*, ilmuwan Rusia bernama Bogorov menggunakan biomassa sebagai tatanama. Ia mengukur bobot plankton laut (*Calanus finmarchicus*) setelah dikeringkan yang ia kumpulkan untuk menyelidiki perubahan pertumbuhan musiman plankton. Plankton yang telah kering ini dinamakan sebagai biomassa.

Biomassa sangat beragam dan klasifikasinya akan dibahas dalam bagian 2(1). Biomassa secara spesifik merujuk pada limbah pertanian seperti jerami, sekam padi, limbah perhutanan seperti serbuk gergaji, MSW, tinja, kotoran hewan, sampah dapur, lumpur kubangan, dan sebagainya. Dalam kategori jenis tanaman, yang termasuk biomassa adalah kayu putih, poplar hibrid, kelapa sawit, tebu, rumput, rumput laut, dan lain-lain.

Biomassa merupakan sumber daya terbarukan dan energi yang diperoleh dari biomassa disebut energi terbarukan. Walaubagaimanapun, di negara Jepang biomassa dinamakan sebagai energi baru dan ia merupakan istilah yang sah menurut undang-undang. Undang-undang berkaitan dengan dorongan penggunaan energi baru telah ditetapkan pada April 1997. Walaupun pada saat ini biomassa belum disetujui sebagai salah satu energi baru, namun ia telah terbukti secara sah ketika undang-undang diamandemenkan pada Januari 2002.

Berdasarkan undang-undang, pembangkit listrik melalui fotovoltan, energi angin, sel bahan bakar, limbah, biomassa, dan juga energi panas dari limbah telah ditetapkan sebagai energi baru. Undang-undang berkaitan dengan energi baru ini menyangkut produksi, pembangkitan, dan penggunaan sumber alternatif minyak bumi, termasuk kekurangan akibat pembatasan ekonomi, dan juga yang ditentukan secara khusus oleh pemerintah dengan tujuan untuk mempromosikan penggunaan energi baru. Di luar negeri, biomassa biasanya dinamakan dan ditetapkan sebagai salah satu dari energi terbarukan.

Banyak kajian telah menyarankan bahwa energi turunan biomassa akan memberikan sumbangan yang besar terhadap suplai energi keseluruhan karena harga bahan bakar fosil semakin meningkat pada beberapa dekade yang akan datang. Penggunaan biomassa sebagai sumber energi adalah sangat menarik karena ia merupakan sumber energi dengan jumlah bersih CO<sub>2</sub> yang nol, oleh karenanya tidak berkontribusi pada peningkatan emisi gas rumah kaca. Ini juga berarti biomassa adalah netral karbon seperti yang didefinisikan dalam bagian 1. (2). Pembakaran energi biomassa akan menghasilkan CO<sub>2</sub>, akan tetapi hampir semua karbon dalam bahan bakar akan diubah menjadi CO<sub>2</sub>, yaitu seperti yang digunakan selama konsumsi bahan bakar fosil. Namun biomassa dikatakan sebagai memiliki jumlah bersih CO<sub>2</sub> yang nol berdasarkan anggapan bahwa pohon-pohon yang baru atau tumbuhan lain yang ditanam kembali akan memberikan CO<sub>2</sub> yang dihasilkan selama penggunaan energi biomassa. Konsep ini merujuk kepada perkebunan energi yang dikelola secara tepat, tetapi ia tidak bisa diaplikasikan untuk negara-negara berkembang dimana sebagian besar energi biomassa diperoleh dari hutan yang tidak ditanam kembali.

Perluasan dari penggunaan energi biomassa telah menimbulkan kekhawatiran terhadap ketersediaan tanah, yang mungkin juga digunakan untuk produksi makanan, atau penggunaan komersial seperti produksi kayu. Laporan terakhir menunjukkan bahwa prediksi potensi energi biomassa untuk masa depan diperkirakan mencapai 42E J sampai hampir 350 EJ pada tahun 2100 yang mendekati jumlah produksi energi untuk masa kini. Oleh karena itu, energi biomassa seharusnya dimanfaatkan secara luas dan cermat sesuai dengan produksi pangan atau bahan berharga dan juga perlindungan lingkungan.

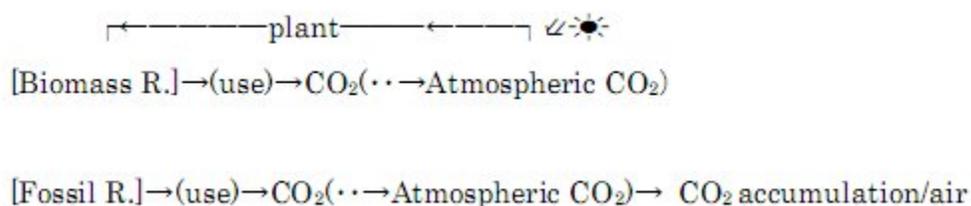
Biomass sangat beragam dan berbeda dalam hal sifat kimia, sifat fisis, kadar air, kekuatan mekanis dan sebagainya dan teknologi konversi menjadi bahan dan energi juga beragam. Penelitian untuk menghasilkan teknologi konversi dengan biaya yang terjangkau serta teknologi konversi yang ramah lingkungan telah dilakukan untuk mengurangi kebergantungan pada bahan bakar fosil, menekan emisi CO<sub>2</sub>, dan untuk menggerakkan perekonomian pedesaan.

## 1.2 Karakteristik Biomassa

### 1.2.1 Ruang lingkup

Sumber daya biomassa dapat digunakan berulang kali dan bersifat tidak terbatas berdasarkan siklus dasar karbon melalui proses fotosintesis. Sebaliknya, sumber daya fosil secara prinsip bersifat terbatas dan hanya untuk sementara. Selain itu, emisi CO<sub>2</sub> yang takterbalikkan dari pembakaran fosil akan memberikan efek yang serius terhadap iklim global (Gambar 1.2.1).

R.= sumberdaya



Gambar 1.2.1. Perbandingan sistem biomassa dan fosil pada siklus karbon.

Akan tetapi, kata “terbaharui” dan “berkelanjutan” tidak selalu memiliki arti yang sama. Kemampuan tumbuhan untuk mendaur ulang adalah berbasis prinsip ekosistem yang rumit.

Kondisi yang diperlukan untuk biosistem adalah mempertahankan keseimbangan panen versus laju pertumbuhan dan juga perlindungan lingkungan untuk lahan pertanian. Jika tidak, keberlanjutan jangka panjang untuk sistem biomassa tidak akan tercapai.

### 1.2.2. Terbaharui

Ada dua jenis sumber energi, yaitu: (1) sumber daya tidak terbarukan (jenis stok) dan (2) sumber daya terbaharui (jenis aliran seperti sinar matahari, angin, kekuatan hidrolik dan biomassa). Sumber jenis aliran bersifat tidak terbatas namun ia seharusnya dibatasi dalam jangka waktu tertentu. Penggunaan yang berlebihan seperti penggundulan hutan bisa menyebabkan ketidakberlanjutan sistem energi terbarukan ini. Biomassa mempunyai dua jenis sumber daya.

(A) biomassa jenis aliran. Jumlah bersih produktivitas primer adalah sebanyak 170 Gt/tahun (sekitar 7 kali jumlah permintaan energi di seluruh dunia)

(B) biomassa jenis stok. Kebanyakan di hutan; 1800 Gt (sekitar 80 kali jumlah permintaan energi di seluruh dunia).

Konsumsi biomassa (C) memiliki 2 jenis variasi, yaitu putrefaksi dan pemanfaatan. Di dalam hutan alami, tingkat pertumbuhan dan putrefaksi terjadi dalam jumlah yang hampir sama, sehingga keseimbangan  $(A)=(C)$  dapat dicapai.

|                     |   |                   |   |  |
|---------------------|---|-------------------|---|--|
| (A) Biomassa aliran | → | (B) Biomassa stok | → | (C) Konsumsi putrefaksi atau pemanfaatan |
| 170 Gt/thn          |   | 1800 Gt/thn       |   | (peubah)                                 |

Meskipun  $(C) > (A)$  tidak mungkin bisa dicapai, tetapi mungkin untuk mendapatkan bagian pemanfaatan biomassa yang lebih besar dari persamaan  $(C)$  diatas melalui pelaksanaan kebijakan dan teknologi.

### 1.2.3. Netral karbon

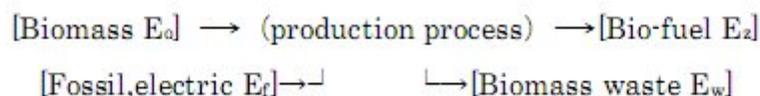
Bahan bakar biomassa juga menghasilkan CO<sub>2</sub> melalui pembakaran. Akan tetapi, CO<sub>2</sub> akan diserap oleh tumbuhan semasa proses pertumbuhan.

Hal ini bisa dikatakan bahwa [pelepasan CO<sub>2</sub>] = [pengikatan CO<sub>2</sub> melalui proses pertumbuhan]. Walaupun batu bara juga berasal dari biomassa, namun kisaran karbonnya berada dalam jangka waktu yang panjang, yaitu beberapa juta tahun. Untuk pertimbangan jangka penghasilan kembali CO<sub>2</sub>, laju kekebalan CO<sub>2</sub> haruslah diperkirakan.

CO<sub>2</sub> tidak bisa diproduksi kembali setelah pembakaran biomassa. Oleh karena itu, diperkirakan untuk hutan iklim sedang (perkiraan 25 tahun untuk pertumbuhan kembali) membutuhkan [laju kekebalan CO<sub>2</sub> = 1], sebagai standar. Untuk hutan subartik, masa pertumbuhan kembali = 100 tahun, maka tingkat kekebalan menjadi [25/100 = 0,25]. Batu bara muda (berasal 25 juta tahun), tingkat kekebalannya hanya 1 ppm. Maka dapat disimpulkan bahwa bahan bakar fosil tidak memiliki daur CO<sub>2</sub> yang efektif.

### 1.2.4. Pertanian berkelanjutan

Untuk produksi bahan bakar dari sumber biomassa, banyak energi input (E<sub>f</sub>) dari luar diperlukan untuk proses produksi. Selain itu, bagian dari biomassa akan menjadi sisa biomassa (E<sub>w</sub>) (Gambar 1. 2. 3). Untuk sistem produksi energi, (E<sub>z</sub>-E<sub>f</sub>-E<sub>w</sub>) seharusnya lebih tinggi dari nol. E<sub>z</sub>: energi diperoleh dari biofuel.



Gambar 1.2.3. keseimbangan energi biomassa untuk pendapatan dan pengeluaran.

Total perolehan energi dalam sistem ini adalah E<sub>z</sub>/[E<sub>o</sub> + E<sub>f</sub>]. Jika nilai yang dihitung adalah lebih rendah dari 0,5, biomassa itu hanya berfungsi sebagai bahan bakar samping. Akan tetapi, meskipun hanya dengan menggunakan sebagian kecil biomassa, ia dapat menyumbang kepada sistem energi baru jika rasio keseimbangan energi (produk/bahan bakar yang digunakan) adalah lebih dari 1 seperti dalam kasus pembakaran campuran batu bara dan biomassa. Bila sisa biomassa bisa menggantikan bahan bakar fosil di dalam sistem, E<sub>f</sub> bisa dikurangi agar rasio

keseimbangan energi menjadi lebih baik. Contoh sistem yang berhasil adalah seperti dalam industri gula yang menggunakan ampas tebu sebagai bahan bakar alternatif. Sistem produksi biomassa dengan rasio keseimbangan energi yang kecil tidak memiliki kelestarian netral karbon. Di dalam bidang pertanian, produksi ubi dan gandum, rasio keseimbangan energi adalah 1.5 ~ 5 (perhitungan tenaga kerja diabaikan), sedangkan untuk produksi sayur - sayuran, rasio adalah lebih rendah dari 0.5 akibat kehilangan energi dari penggunaan jalur kereta api untuk tujuan distribusi. Memandang hal tersebut, dapat disimpulkan bahwa sumber kehutanan adalah lebih baik dari tanaman pertanian karena energi yang diperlukan untuk penanaman jauh lebih kecil.

**(a)** Investasi tenaga kerja. Penggunaan lebih banyak tenaga kerja akan dapat mengurangi penggunaan energi listrik dan/atau bahan bakar yang menyebabkan kenaikan rasio keseimbangan energi nyata. Namun, tenaga kerja dan energi fosil memiliki hubungan yang proporsional. Unit energi untuk tenaga kerja diperkirakan 0.073 toe/tahun/orang (standar biologi) ~ 1 toe/tahun/orang (penggunaan seumur hidup). Produksi berdasarkan buruh intensif seringkali memberikan penghematan sistem energi yang palsu.

**(b)** Siklus N,P,K. N (nitrogen), P (fosfor), dan K (kalium) adalah komponen utama dalam pupuk. Produksi yang mengeksploitasi penggunaan komponen ini menyebabkan sistem siklus diperlukan untuk mempertahankan N, P dan K di dalam tanah. Pada stasiun pembangkit listrik termal dari kayu, penting mengembalikan abu untuk mempertahankan unsur P dan K. Komponen N tidak bisa dipertahankan dalam abu, maka rute pasokan alternatif N adalah penting untuk memulihkan sistem itu kembali. Selain itu, kehutanan tradisional tidak memerlukan pupuk karena ada pasokan nitrat-N dari hujan. Akan tetapi, energi dari kehutanan di masa depan membutuhkan pupuk N karena keseimbangan N akan terganggu.

**(c)** Konservasi keanekaragaman hayati. Keanekaragaman hayati akan terganggu apabila produksi biomassa ditingkatkan melalui keseragaman, pertanian skala besar dan proses yang intensif. Misalnya, penanaman campuran seperti agrohutani diharapkan akan dapat mempertahankan konservasi tanah.

### ***Informasi Lebih Lanjut***

Sano, H.in “Biomass Handbook”, Japan Institute of Energy Ed. , Ohm-sha , 2002, pp.311- 323.  
(dalam bahasa Jepang)

UN Energi “Sustainable Bioenergi: A Framework for Decision Maker”, 2007.

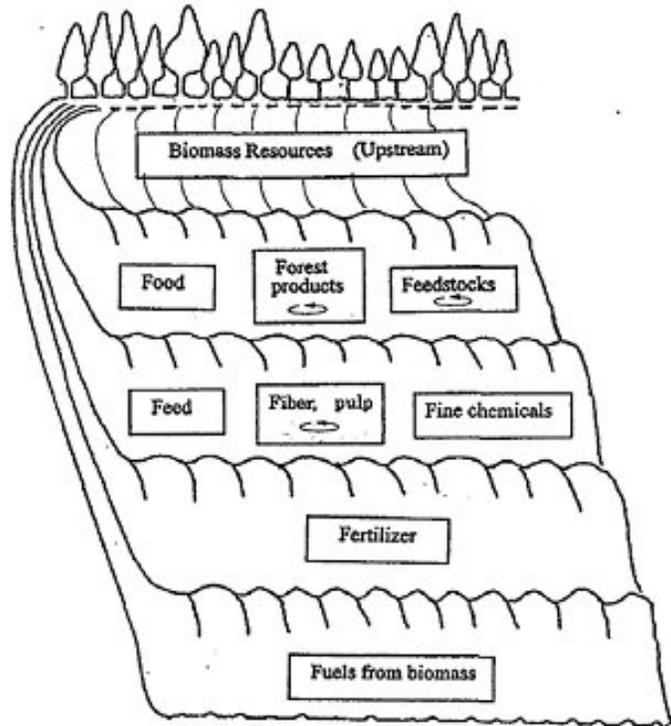
## 1.3 Bagaimana Memanfaatkan Biomassa

### 1.3.1 Ruang lingkup

Untuk pemanfaatan biomassa, bahan baku hayati yang dipilih dari berbagai jenis biomassa harus mempertimbangkan tujuan pemanfaatannya, permintaan dan ketersediaan. Setelah itu, barulah bahan baku ini bisa diubah menjadi bahan baru atau energi.

Biomassa sebagai sumber hayati utamanya berasal dari tumbuhan atau sisanya. Hewan dan mikroorganisme serta bahan organik dari hewan dan mikroorganisme tersebut juga sama penting. Banyak spesies tumbuhan berguna sebagai biomassa. Biomassa tanah umumnya terdiri atas biomassa herba berasal dari tanaman perkebunan utama dan biomassa kayu dari hutan. Kebanyakan dari biomassa tersebut ditanam kemudian diubah serta digunakan untuk tujuan tertentu. Biomassa air dari lautan, danau dan sungai bisa juga ditanam seperti rumput laut. Biomassa yang ditanam di ladang atau yang diperoleh dari hutan untuk tujuan tertentu disebut sebagai biomassa asli, sedangkan bahan hayati yang terbuang dari hasil proses produksi, konversi dan pemanfaatan dinamakan sebagai biomassa limbah dan digunakan untuk tujuan lain. Misalnya, ampas tebu yang merupakan limbah dari pemrosesan digunakan sebagai bahan bakar yang baik untuk pengekstrakan gula dan proses penyulingan etanol. Pemanfaatan biomassa limbah juga penting untuk menghindari konflik antara penggunaan bioenergi untuk makanan dan pakan ternak. Ampas tebu juga dianggap sebagai salah satu bahan baku utama untuk “bahan bakar bio (biofuel) generasi kedua”.

Pengangkutan dan penyimpanan biomassa tidaklah mudah karena ukurannya terlalu besar dan mudah terurai. Oleh karena itu, biomassa layak untuk digunakan di daerah dimana biomassa tersebut diproduksi. Berdasarkan alasan ini, biomassa sering digunakan di dalam daerah atau daerah terdekat dimana pasokan dan permintaan biomassa seimbang. Akan tetapi, jika biomassa diubah menjadi bentuk yang mudah untuk diangkut seperti pelet atau bahan bakar cair, maka ia dapat dimanfaatkan di daerah yang lebih jauh.



Gambar 1.3.1. Diagram pemanfaatan dan pendaur ulangan biomassa

Biomassa dapat digunakan baik sebagai bahan atau energi. Biomassa dapat dimanfaatkan sebagai makanan, pakan ternak, serat, bahan baku, produk kehutanan, pupuk dan bahan kimia. Pemanfaatan sebagai energi dalam bentuk bahan bakar bio (biofuel) terjadi pada tahap akhir dan biomassa akan terurai menjadi karbon dioksida atau metana serta dibebaskan ke udara. Keragaman dalam penggunaan ini disebut sebagai “Penggunaan 8 F” biomassa.

Biomassa dapat juga digunakan secara bertahap seperti riam disebabkan kualitasnya yang terdegradasi. Gambar 1.3. 1. menunjukkan contoh penggunaan riam makanan ke pakan ternak dan kemudian menjadi pupuk.

Limbah makanan dapat diperlakukan menjadi pakan ternak yang baik. Pakan ternak akan berubah menjadi kotoran ternak kemudian menjalani proses fermentasi untuk menghasilkan metana. Limbah yang telah terurai ini dapat digunakan sebagai pupuk. Produk hutan seperti kayu dapat dimanfaatkan sebagai papan partikel atau pulp dan sebagai langkah akhir, ia bisa diubah menjadi energi melalui pembakaran bahan bakar padat bio.

Daur ulang untuk kertas, serat, beberapa bahan baku dan produk kayu sebagaimana ditunjukkan dengan tanda panah-melingkar dalam Gambar 1.3.1. Selama biomassa digunakan sebagai bahan mentah, kadar karbonnya dapat dipertahankan di dalam bahan dan tidak memberikan efek emisi gas rumah kaca yang berkontribusi pada efek pemanasan global.

### *1.3.2 Konversi dan pemanfaatan*

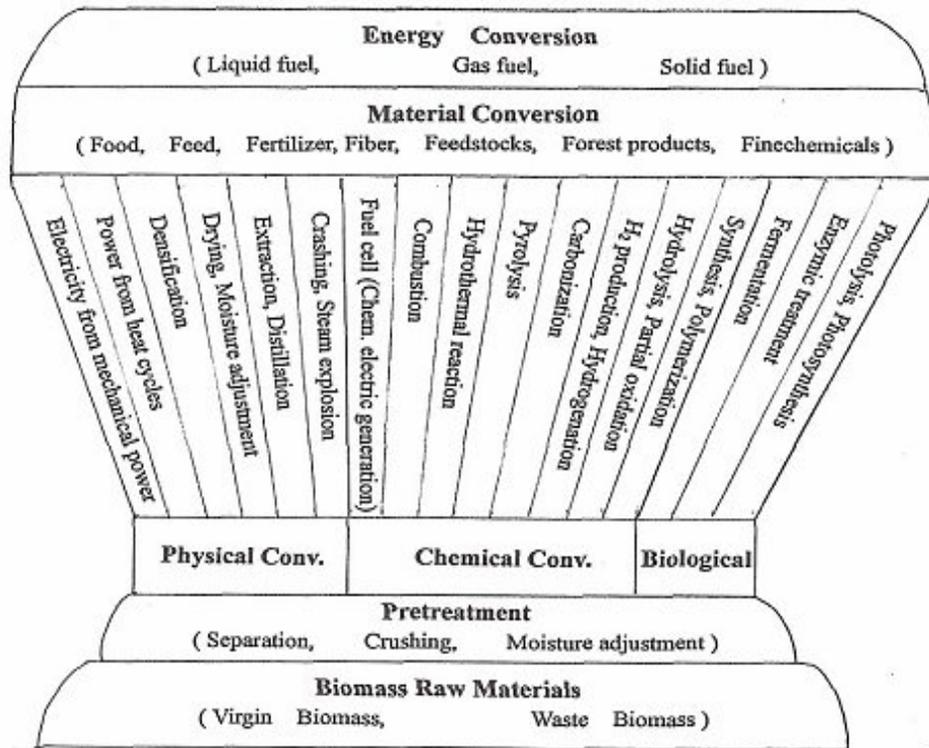
Ada berbagai teknologi konversi yang bisa digunakan untuk merubah kualitas biomassa sesuai dengan tujuan penggunaannya. Ada teknik fisika, kimia dan biologi. Gambar 1.3.2 menunjukkan teknologi konversi yang biasa digunakan.

Konversi fisika termasuk penggerusan, penggerindaan, dan pengukusan untuk mengurai struktur biomassa dengan tujuan meningkatkan luas permukaan sehingga proses selanjutnya, yaitu kimia, termal dan biologi bisa dipercepat. Proses ini juga meliputi pemisahan, ekstraksi, penyulingan dan sebagainya untuk mendapatkan bahan berguna dari biomassa serta proses pemampatan, pengeringan atau kontrol kelembaban dengan tujuan membuat biomassa lebih mudah diangkut dan disimpan. Teknologi konversi fisika sering digunakan pada perlakuan pendahuluan untuk mempercepat proses utama.

Konversi kimia meliputi hidrolisis, oksidasi parsial, pembakaran, karbonisasi, pirolisis, reaksi hidrotermal untuk penguraian biomassa, serta sintesis, polimerisasi, hidrogenasi untuk membangun molekul baru atau pembentukan kembali biomassa. Penghasilan elektron dari proses oksidasi biomassa dapat digunakan pada sel bahan bakar untuk menghasilkan listrik.

Konversi biologi umumnya terdiri atas proses fermentasi seperti fermentasi etanol, fermentasi metana, fermentasi aseton-butanol, fermentasi hidrogen, dan perlakuan enzimatik yang berperan penting pada penggunaan bioetanol generasi kedua. Aplikasi proses fotosintesis dan fotolisis akan menjadi lebih penting untuk memperbaiki sistem biomassa menjadi lebih baik.

Kalor pembakaran biomassa diubah menjadi energi mekanis melalui daur panas seperti Daur Otto (untuk mesin bensin), Daur Diesel (mesin diesel), daur Rankine (mesin uap), Daur Brayton (turbin gas) dan lain-lain.



Gambar 1.3.2. Ragam teknologi konversi dan praperlakuan.

Pembangkit listrik dengan induksi elektromagnetik dapat digunakan untuk merubah energi mekanis menjadi listrik.

Teknologi praperlakuan seperti pemisahan, pengekstrakan, kisaran, asahan, kontrol kelembaban dan selainnya sering dilakukan sebelum proses konversi utama. Gambar 1.3.2 menunjukkan contoh yang disebut kotak ajaib dimana biomassa ditempatkan di bawah dan diubah melalui berbagai teknik untuk memenuhi tujuan Penggunaannya. Penilaian terhadap proses-proses konversi ini dilakukan berdasarkan kualitas produk, efisiensi energi, hasil dan ekonomi sistem.

Perancangan sistem konversi dan penggunaan seharusnya mempertimbangkan aspek-aspek yang berikut: naik turun pasokan biomassa, cara dan biaya transportasi dan penyimpanan, manajemen organisasi dan peraturan seperti yang ditetapkan otoritas yang terkait dan juga dari aspek ekonomi untuk keseluruhan sistem.

## 1.4 Manfaat Penggunaan Biomassa

### 1.4.1. Ruang lingkup

Meskipun energi dari biomassa umumnya tidak kompetitif dari segi biaya jika dibandingkan dengan bahan bakar fosil dengan teknologi dan kondisi pasar saat ini, namun produksi biomassa untuk bahan baku dan energi akan menghasilkan berbagai manfaat. Manfaat-manfaat ini beragam, namun beberapa manfaat yang signifikan adalah mengimbangi emisi gas rumah kaca dari pembakaran bahan bakar fosil, menciptakan lapangan pekerjaan dan pendapatan melalui pengembangan industri baru dan pemanfaatan bahan baku lokal serta meningkatkan keamanan energi dengan mengurangi ketergantungan terhadap barang impor. Namun, pemahaman terhadap nilai dari semua manfaat yang disebutkan di atas masih belum dapat ditentukan jika dibandingkan dengan biaya biomassa dan biaya produksi bioenergi. Penilaian terhadap manfaat-manfaat ini akan memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai daya saing biomassa dan bioenergi, dan dapat memberikan implikasi yang jelas terhadap perkembangan bioenergi dan perumusan kebijakan yang terkait.

### 1.4.2. Depleksi minyak bumi

Sumber daya hutan dan batu bara sangat melimpah dan cukup untuk memenuhi permintaan energi. Akan tetapi, akibat kreativitas manusia yang melebihi harapan, diperlukan teknologi berbasis batu bara dan minyak bumi untuk menghasilkan energi yang lebih efisien.

Cadangan minyak bumi dunia diperkirakan sebanyak 2000 miliar barel. Konsumsi global per hari adalah sekitar 71,7 juta barel. Diperkirakan sekitar 1000 milyar barel telah digunakan dan hanya tersisa 1000 miliar barel cadangan minyak bumi di seluruh dunia (Asifa dan Muneer, 2007). Harga bensin dan bahan bakar yang lain akan meningkat seiring dengan efek ekonomi yang buruk sehingga manusia akan beralih ke alternatif lain selain bahan bakar fosil. Peningkatan penggunaan biomassa akan memperpanjang umur pasokan minyak mentah yang semakin berkurang. Carpentieri *et al.* (2005) menunjukkan manfaat lingkungan yang penting dari pemanfaatan biomassa dalam hal pengurangan pasokan sumber daya alam, meskipun metodologi

penilaian dampak yang lebih baik harus dilakukan untuk membuktikan kelebihan pemanfaatan biomassa.

### *1.4.3. Pemanasan global*

Peningkatan laju emisi gas rumah kaca seperti CO<sub>2</sub> secara global menimbulkan ancaman terhadap iklim dunia. Berdasarkan perkiraan pada tahun 2000, lebih dari 20 juta ton metrik CO<sub>2</sub> diperkirakan akan dilepaskan ke atmosfer setiap tahun (Saxena *et al.*, *in press*). Jika tren ini berlanjut, diperkirakan bencana alam yang ekstrem seperti hujan lebat yang mengakibatkan banjir, kekeringan atau ketidakseimbangan lokal mungkin terjadi. Biomassa merupakan sumber netral karbon dalam siklus hidupnya dan merupakan penyumbang utama terhadap efek rumah kaca. Biomassa merupakan sumber energi keempat terbesar di dunia setelah batu bara, minyak bumi, dan gas alam serta berkontribusi kepada hampir 14% konsumsi energi primer dunia (Saxena *et al.*, *in press*). Biomass saat ini dianggap sebagai sumber energi yang penting di seluruh dunia.

Untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dari konsumsi energi, beberapa alternatif kebijakan seperti pajak emisi dan izin pembebasan perdagangan telah diajukan. Kebijakan mitigasi ini akan membantu untuk meningkatkan manfaat persaingan energi biomassa terhadap bahan bakar fosil karena biomassa dapat menggantikan emisi CO<sub>2</sub> yang dilepaskan oleh bahan bakar fosil. Akan tetapi, telah dipahami dengan baik bahwa konversi biomassa ke bioenergi membutuhkan input energi tambahan, biasanya dari bahan bakar fosil itu sendiri. Siklus hidup keseimbangan energi biomassa harus positif jika dibandingkan dengan bahan bakar fosil yang lazim, tetapi bergantung pada jenis proses, permintaan kumulatif energi fosil terkadang hanya sedikit lebih rendah atau bahkan terkadang lebih tinggi dari apa yang diperlukan oleh bahan bakar fosil cair. Sistem bioenergi seharusnya dibandingkan dengan sistem bahan bakar berdasarkan dasar siklus hidup atau menggunakan LCA.

#### *1.4.4. Perbaikan taraf hidup*

Karena bidang pertanian sangat penting untuk ekonomi yang sedang berkembang, maka diharapkan pertanian yang berkelanjutan akan meningkatkan taraf hidup petani disamping pendapatan mereka. Pendidikan masyarakat juga sangat penting karena tingkat literasi di daerah pedesaan untuk negara berkembang tidak terlalu tinggi. Dalam hal ini, maka penting untuk menyediakan informasi yang akurat tentang teknologi ini kepada para petani. Apa yang dianggap penting dari segi pemanfaatan biomassa oleh para petani adalah kemudahan untuk mengakses tanaman biomassa atau tempat pengumpulan biomassa. Meskipun para petani memiliki atau menghasilkan bahan baku biomassa, hal ini sangat sia-sia jika tidak ada akses ke tempat dimana biomassa tersebut diproduksi.

#### *1.4.5. Peningkatan pendapatan petani*

Ada 2 cara utama untuk membantu para petani (The Japan Institute of Energi, 2007). Salah satu cara adalah dengan memberikan energi agar para petani ini mendapat akses ke bahan bakar yang berguna. Di Thailand, para petani menggunakan gas untuk memasak yang berasal dari proses biometanasi skala kecil, sehingga mereka tidak perlu membeli gas propana untuk keperluan memasak. Bantuan kepada para petani ini juga efektif untuk menciptakan pertanian yang berkelanjutan dikarenakan pengurangan penggunaan bahan bakar fosil. Bantuan yang lain adalah melalui pemberian uang tunai. Jika para petani ini menanam bahan baku untuk produksi etanol lalu menjualnya dengan harga yang lebih tinggi, maka mereka akan mendapatkan uang untuk membeli listrik. Karena mereka yang menggunakan etanol sebagai bahan bakar lebih kaya jika dibandingkan para petani, maka mekanisme ini bisa dianggap sebagai “redistribusi kekayaan”.

#### *1.4.6. Keamanan energi*

Perekonomian semua negara dan khususnya negara maju bergantung pada pasokan energi yang aman. Keamanan energi berarti ketersediaan energi yang konsisten dalam berbagai bentuk pada harga yang terjangkau. Kondisi ini harus bisa tetap bertahan untuk jangka panjang agar dapat berkontribusi pada pembangunan berkelanjutan. Perhatian terhadap keamanan energi

sangat penting karena distribusi sumber daya bahan bakar fosil yang tidak seimbang di kebanyakan negara saat ini. Pasokan energi akan menjadi lebih rentan pada waktu dekat ini akibat kebergantungan global terhadap minyak impor. Biomassa merupakan sumber daya domestik yang tidak terkena pengaruh fluktuasi harga pasar dunia atau ketidakpastian pasokan bahan bakar impor.

#### *1.4.7. Mata uang asing*

Ada peluang bagi negara berkembang untuk mendapatkan mata uang asing melalui ekspor bioenergi. Misalnya, untuk kasus produksi ubi kayu di Thailand, produksi ubi kayu untuk keperluan makanan dan etanol adalah seimbang saat ini. Akan tetapi, penggunaan ubi kayu untuk masa depan harus dipertimbangkan dengan teliti. Pada masa depan, jumlah produksi ubi kayu untuk etanol mungkin meningkat, hal ini sering dikatakan bahwa pemanfaatan bioenergi mungkin akan mengalami konflik dengan produksi makanan, dengan kata lain permintaan dunia terhadap etanol mungkin akan mengancam stabilitas pasokan makanan domestik.

#### ***Informasi Lebih Lanjut***

- Asifa, M.; Muneer, T. Energi supply, its demand and security issues for developed and emerging economies, *Renewable and Sustainable Energi Reviews*, **11**, 1388-1413 (2007)
- Carpentieri, M.; Corti, A.; Lombardi, L. Life cycle assessment (LCA) of an integrated biomass gasification combined cycle (IBGCC) with CO<sub>2</sub> removal, *Energi Conservation and Management*, **46**, 1790-1808 (2005)
- Saxena, R.C.; Adhikaria, D.K.; Goyal, H.B. Biomass-based energi fuel through biochemical routes: A review, *Renewable and Sustainable Energi Reviews* (in press)
- The Japan Institute of Energi. Report on the Investigation and Technological Exchange Projects Concerning Sustainable Agriculture and Related Environmental Issues, Entrusted by the Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries of Japan (Fiscal year of 2006) (2007)

# Bab 2. Sumber Daya Biomassa

## 2.1. Klasifikasi Biomassa

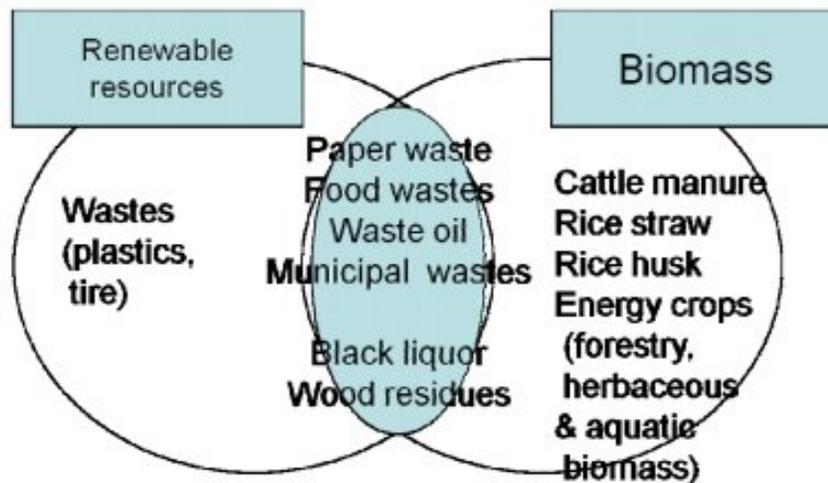
### 2.1.1 Definisi biomassa

Seperti dinyatakan dalam Bab 1.1, “Apa Itu Biomassa?”, kata “biomassa” terdiri atas “bio” + “massa”, dan istilah ini mula-mula digunakan dalam bidang ekologi untuk merujuk pada jumlah hewan dan tumbuhan. Setelah isu guncangan minyak terjadi, makna kata itu diperluas melebihi bidang ekologi dan maknanya kini menjadi “sumber daya biologi sebagai sumber energi”, dikarenakan ada desakan agar sumber energi alternatif (baru) dipromosikan. Hingga kini masih belum ada definisi yang spesifik untuk biomassa dan definisinya bisa berbeda dari satu bidang ke bidang yang lain. Dari perspektif sumber daya energi, definisi umumnya adalah “istilah umum untuk sumber daya hewan dan tumbuhan serta limbah yang berasal darinya, dimana ia terkumpul dalam jangka waktu tertentu (tidak termasuk sumber fosil)”. Seiring dengan itu, biomassa tidak hanya mencakup berbagai jenis tanaman pertanian, kayu, tumbuhan perairan, pertanian konvensional yang lain, kehutanan, sumber daya perikanan tetapi juga mencakup lumpur pulp, lindi hitam, sisa fermentasi alkohol, dan limbah industri organik lainnya, sampah kota seperti sampah dapur dan limbah kertas, serta lumpur limbah. Oleh karena beberapa negara tidak mengklasifikasikan sampah kota sebagai biomassa, maka ia harus dipertimbangkan dalam penggunaan data statistik.

### 2.1.2 Definisi biomassa (energi) dari segi hukum

Salah satu contoh definisi biomassa dari segi hukum ialah situasi negara Jepang sebagaimana dijelaskan sebagai berikut. Pada 25 Januari 2002, Hukum pada Tindakan Khusus untuk Memfasilitasi Penggunaan Sumber Daya Energi Baru (Hukum Energi Baru) diubah secara parsial dan biomassa untuk pertama kalinya dikenal sebagai sumber energi baru di Jepang. Gambar 2.1.1 menunjukkan posisi biomassa diantara “energi baru” lainnya. Biomassa semula dianggap sebagai salah satu jenis sumber daya terbarukan, tetapi dengan amandemen hukum

sekarang ini maka kini dianggap sebagai satu kategori bebas dari energi baru. Namun, beberapa limbah seperti limbah kertas, limbah makanan, limbah penghancuran, dan lindi hitam bisa juga dianggap sebagai sumber daya yang dapat di daur ulang berdasarkan kondisi tertentu dan ia tidak bisa diklasifikasikan secara tegas.



Gambar 2.1.1. Definisi energi biomassa di Jepang.

### 2.1.3 Karakteristik energi biomassa

Menjelang abad ke-19, biomassa dalam bentuk kayu bakar dan arang merupakan sumber utama energi namun ia telah digantikan oleh batubara dan minyak pada abad ke-20. Akan tetapi, pada abad ke-21, biomassa telah menunjukkan pertanda ia akan muncul kembali dikarenakan memiliki karakteristik sebagai berikut: terbarukan, dapat disimpan dan diganti, melimpah dan ia merupakan netral karbon.

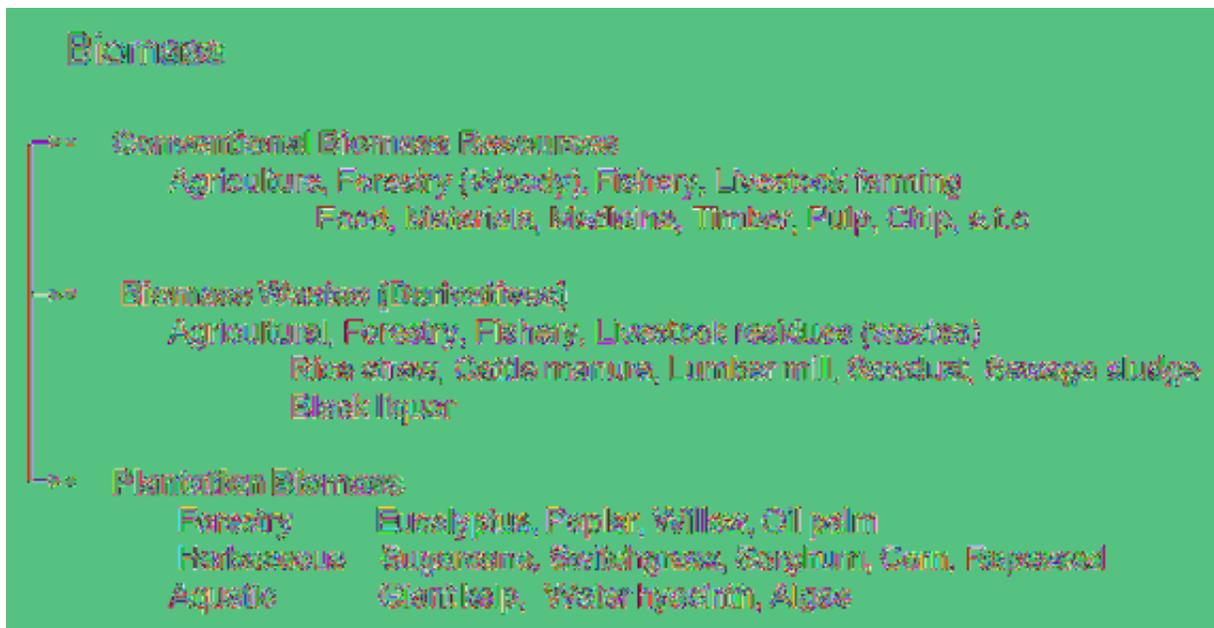
### 2.1.4 Kategori Biomassa

Tidak ada cara tertentu untuk mengkategorikan biomassa, karena memiliki definisi yang berbeda-beda bergantung pada bidangnya; dan kategori dapat berubah berdasarkan tujuan dan aplikasinya. Secara umum, ada 2 cara untuk mengkategorikan biomassa, salah satunya adalah pengkategorian biologi berdasarkan jenis biomassa yang tersedia di alam (seperti pengkategorian berdasarkan ekologi atau jenis tumbuh-tumbuhan) dan kategori berdasarkan penggunaan atau

aplikasi sebagai sumber daya. Jenis yang kedua lebih signifikan untuk penggunaan energi (sumber daya) yang lebih efektif.

### 2.1.5 Contoh pengkategorian biomassa (dalam hal penggunaan dan aplikasi)

Contoh pengkategorian biomassa ditunjukkan dalam Gambar 2.2.1. Dalam pengkategorian ini, biomassa tidak hanya mencakup produk dan sisa konvensional dari pertanian, kehutanan, dan perikanan tetapi juga mencakup biomassa tanaman. Pengkategorian berdasarkan sumber sangat penting untuk mendisain sistem penggunaan biomassa.



Gambar 2.1.2. Pengkategorian biomassa (berdasarkan penggunaan dan aplikasi).

Kadar air merupakan faktor utama untuk dipertimbangkan ketika menggunakan biomassa terutama sebagai energi. Hal ini dikarenakan kadar air didefinisikan secara berbeda untuk setiap bidang, perhatian diperlukan saat membaca petunjuk kadar air. Dalam bidang energi, kadar air seringkali didefinisikan sebagai.

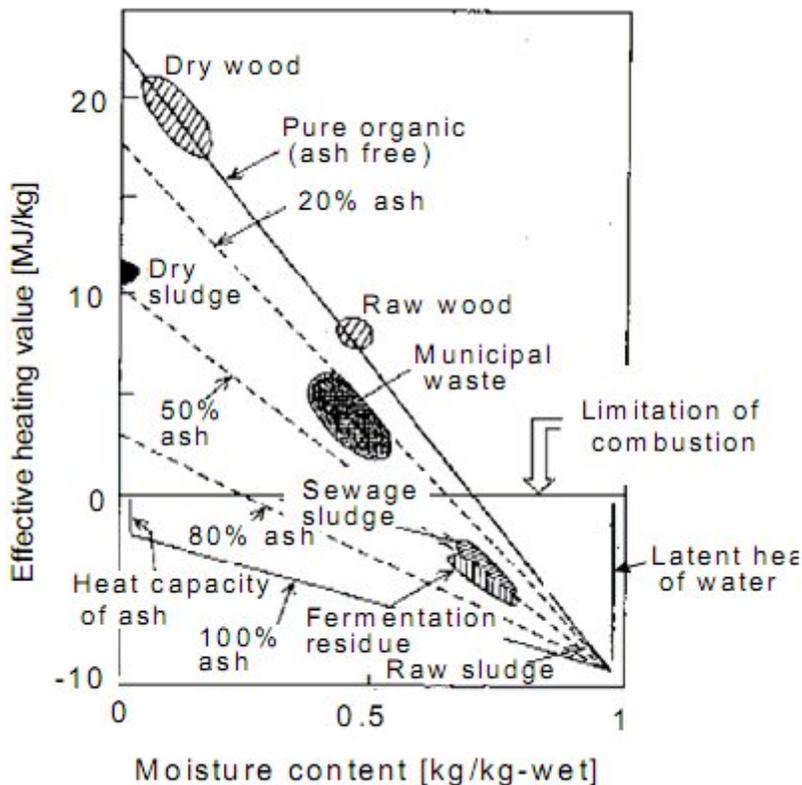
$$(\text{kadar air}) = (\text{bobot air}) / (\text{bobot total}) \times 100 [\%] \quad (2.1.1)$$

$$(\text{bobot total}) = (\text{bobot kering biomassa}) + (\text{bobot air}) \quad (2.1.2)$$

Menggunakan definisi ini, kadar air tidak pernah melebihi 100%. Dalam bidang kehutanan dan ekologi, kadar air sering didefinisikan sebagai berikut:

$$(\text{kadar air}) = (\text{bobot air}) / (\text{bobot biomassa kering}) \times 100 [\%] \quad (2.1.3)$$

Dengan tujuan keseragaman, buku panduan ini menggunakan Persamaan. (2.1.1) untuk mendefinisikan kadar air. Biomassa terdiri atas senyawa makromolekul alami seperti selulosa, lignin, dan protein. Ada berbagai jenis biomassa dengan kadar air yang tinggi disebabkan biomassa berasal dari organisme hidup. Gambar. 2.1.3 menunjukkan kadar air untuk berbagai jenis biomassa. Biomassa memiliki rentang kadar air yang luas mulai dari biomassa jenis kering seperti kayu kering dan sisa kertas dengan kadar air sebanyak 20% sampai biomassa dengan kadar air melebihi 95% seperti mikroalga, sisa fermentasi, dan endapan. Untuk tujuan konversi energi, proses yang dipilih haruslah mampu mengadaptasikan dengan kadar air tersebut.



Gambar 2.1.3 Hubungan kadar air dan nilai kalor.

## *Informasi Lebih Lanjut*

Ogi, T. in “Biomass Handbook”, Japan Institute of Energi Ed., Ohm-sha, 2002, pp. 2-6 (dalam bahasa Jepang)

## **2.2. Availibilitas Biomassa**

Bumi memiliki pasokan biomassa yang sangat banyak meliputi daerah yang luas termasuk hutan dan lautan. Total biomassa di dunia sekitar 1.800 miliar ton di darat dan 4 miliar ton di lautan, termasuk sejumlah yang ada di dalam tanah. Total biomassa di darat adalah sebanyak 33.000 EJ berbasis energi, yang bersamaan dengan 80 kali atau lebih dari konsumsi energi dunia selama setahun.

Akan tetapi, beberapa bagian biomassa digunakan untuk makanan oleh makhluk hidup termasuk manusia, serta penggunaan lain selain makanan untuk memenuhi kebutuhan hidup manusia. Oleh karena itu, penting untuk memperkirakan kuantitas sumber daya biomassa yang dapat digunakan sebagai sumber energi.

### *2.2.1. Estimasi potensi limbah biomassa*

Sisa biomassa termasuk sisa dan sisa yang dibuang dari kehidupan seharian kita. Kuantitas produksi ini kini disebut sebagai penghasilan sisa biomassa. Sisa biomassa memiliki kepelbagaian petunjuk tidak hanya untuk energi tetapi juga sebagai bahan pengisi atau baja. Sebaliknya, untuk biomassa yang kini belum lagi digunakan tetapi bisa diubah ke energi disebut energi potensial biomassa.

Di dalam bagian ini, metode perkiraan kuantitas sumber akan ditampilkan, menunjukkan sisa biomassa yang dihasilkan dari pertanian, kehutanan dan industri ternak.

#### **(a) Jumlah produksi limbah biomassa**

Penting mengetahui produksi limbah biomassa untuk menaksir stok limbah biomassa saat ini, namun sulit untuk mengetahui jumlah produksi limbah biomassa di setiap negara dan kawasan di seluruh dunia. Oleh karena itu, produksi limbah biomassa seringkali ditaksir berdasarkan rasio antara produksi limbah relatif terhadap produksi sumber daya biomassa.

Contoh parameter untuk estimasi produksi limbah biomassa disajikan pada Tabel 2.2.1. Perhatikan bahwa parameter-parameter ini disamaratakan dalam basis global, dan penting untuk mengatur parameter yang diinginkan untuk masing-masing daerah, dalam sebuah penelitian yang meliputi area yang terbatas.

Gambar 2.2.1. menunjukkan stok limbah biomassa saat ini yang diperkirakan menggunakan parameter di atas berdasarkan prosedur berikut:

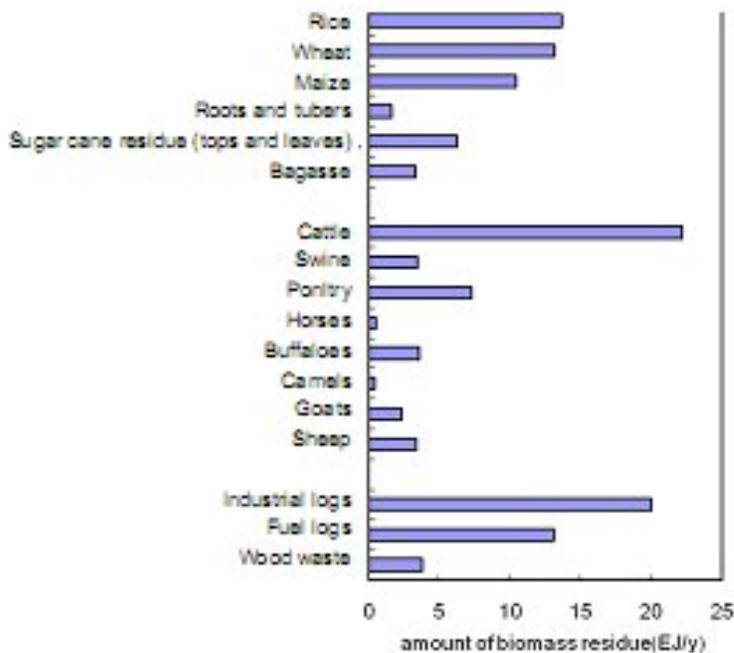
- Jumlah produksi limbah pertanian dan kehutanan diperkirakan dengan memodifikasi produksi pertanian (2000) dan kehutanan (1999) dengan menggunakan statistik FAO, dan kemudian dikalikan dengan rasio produksi limbah.
- Jumlah produksi limbah peternakan diperkirakan dengan menentukan jumlah peternakan (2000), serta dengan menggunakan jumlah kotoran yang diproduksi oleh setiap hewan ternak.
- Stok biomassa saat ini diperkirakan berdasarkan produksi limbah biomassa dikalikan dengan koefisien konversi energi.

Stok limbah biomassa saat ini (nilai tahunan) diperkirakan sekitar 43 EJ untuk biomassa peternakan, 48 EJ untuk biomassa pertanian, dan 37 EJ untuk biomassa kehutanan dengan total sekitar 128 EJ. Sekitar 22 EJ kotoran sapi merupakan sumber daya terbesar dan diikuti dengan sekitar 20 EJ dari limbah kayu.

Tabel 2.2.1. Parameter yang digunakan untuk memperkirakan produksi limbah biomassa dan sejumlah sumber daya

| Spesies biomassa                   | Rasio produksi limbah (t/t) | Koefesien konversi energi (GJ/t) |
|------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| Padi                               | 1.4                         | 16.3                             |
| Gandum                             | 1.3                         | 17.5                             |
| Jagung                             | 1.0                         | 17.7                             |
| Akar dan umbi                      | 0.4                         | 6.0                              |
| Residu tebu (bagian atas dan daun) | 0.28                        | 17.33                            |
| Sapi                               | 1.10 (t/y/kepala)           | 15.0                             |
| Babi                               | 0.22 (t/y/kepala)           | 17.0                             |
| Unggas                             | 0.037 (t/y/kepala)          | 13.5                             |
| Kuda                               | 0.55 (t/y/kepala)           | 14.9                             |
| Kerbau dan unta                    | 1.46 (t/y/kepala)           | 14.9                             |
| Domba dan kambing                  | 0.18 (t/y/kepala)           | 17.8                             |
| Kayu industry                      | 1.17                        | 16.0                             |
| Kayu bahan bakar                   | 0.67                        | 16.0                             |
| Limbah kayu                        | 0.784                       | 16.0                             |

\*laju produksi kotor, basis ton kering



Gambar 2.2.1. Jumlah residu biomassa di dunia.

### (b) Potensi energi limbah biomassa .

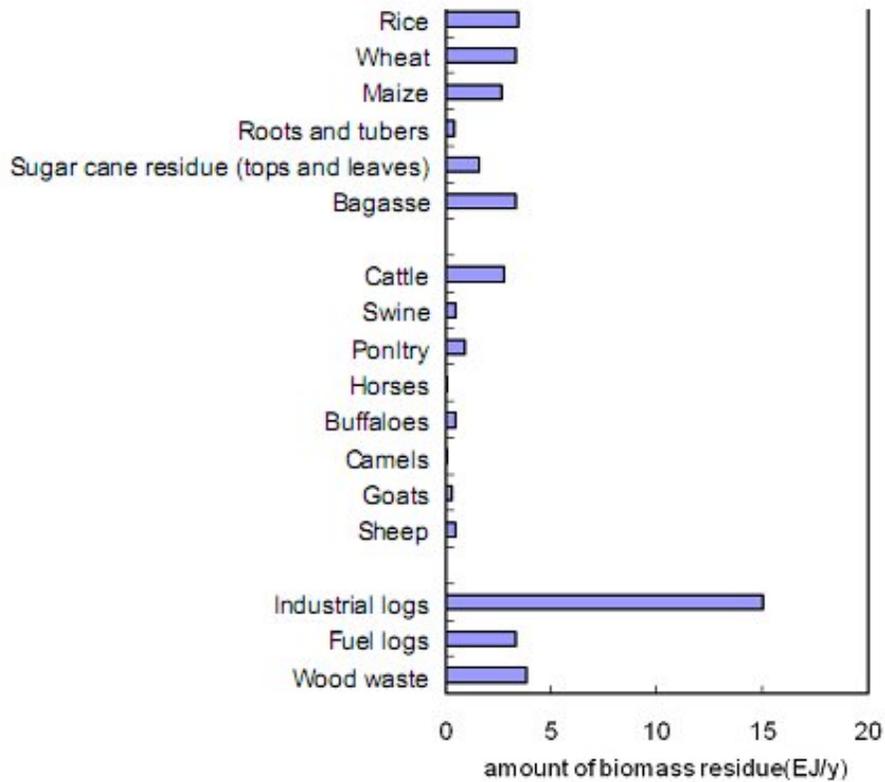
Sebagian stok limbah biomassa saat ini telah digunakan untuk aplikasi lain, sehingga cukup sulit untuk mendapatkan kembali semua massa secara efisien serta menggunakan kembali sebagai sumber energi. Sebagai contoh, beberapa jerami digunakan sebagai pakan ternak saat ini. Hampir mustahil untuk mengumpulkan kotoran sapi di padang rumput ternak. Oleh karena itu, ketika stok kuantitas biomassa saat ini diperkirakan, perlu untuk mempertimbangkan ketersediaannya, sehingga potensi energi limbah biomassa dihitung sebagai bagian dari sumber energi yang tersedia dari keseluruhan stok saat ini. Rasio ketersediaan yang diajukan oleh Hall et al. disajikan pada Table. 2.2.2.

Tabel 2.2.2. Jenis biomassa dan rasio ketersediaan energi

|                   | Jenis biomassa   | Rasio ketersediaan energi (%) |
|-------------------|--|-------------------------------|
| Limbah pertanian  | Padi, gandum, jagung, akar dan umbi, tebu (residu hasil panen) | 25                            |
| Limbah peternakan | Sapi, kambing dan domba, babi, kuda, kerbau dan onta, unggas   | 12.5                          |
| Limbah kehutanan  | Kayu industry  | 75                            |
|                   | Kayu bahan bakar   | 25                            |
|                   | Limbah kayu  | 100                           |

[Hall et al., 1993]

Potensi energi limbah biomassa diperkirakan menggunakan rasio ketersediaan seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.2. 2. Bagian terbesar potensi energi limbah biomassa (nilai tahunan) berasal dari biomassa limbah kehutanan sekitar 22 EJ dari basis di seluruh dunia. Terutama sisa kayu menyumbang sebesar 15 EJ, yaitu sekitar dua pertiga dari limbah biomassa kehutanan setara dengan sekitar 36% dari total sumber daya biomassa. Ada sekitar 15 EJ limbah biomassa pertanian dari basis di seluruh dunia. Setiap jenis biomassa yang ada dalam biomassa pertanian berkontribusi rata-rata sekitar 1.5 - 3.5 EJ. Di sisi lain, biomassa jenis ternak hanya menyumbang sekitar 5.4 EJ dari basis di seluruh dunia, dimana penyumbang utama adalah kotoran sapi, yaitu sekitar 2.8 EJ.



Gambar 2.2.2. Ketersediaan residu biomassa di seluruh dunia.

### ***Informasi Lebih Lanjut***

FAO (The Food and Agriculture Organization of the United Nations), FAO Statistical Database, (<https://www.fao.org/>)

Hall, D. O. et al. (1993), "Biomass for Energi: Supply Prospects", In: Renewable Energi, Johansson, T. B. eds., pp.594, Washington, Island Press.

## 2.3. Komposisi Biomassa

### 2.3.1 Tinjauan komposisi biomassa

Ada berbagai jenis biomassa dan komposisinya juga beragam. Beberapa komponen utama adalah selulosa, hemiselulosa, lignin, kanji, dan protein. Pohon biasanya mengandung selulosa, hemiselulosa dan lignin seperti tanaman herba meskipun persen komponennya berbeda satu sama lain. Jenis biomassa yang berbeda memiliki komponen yang berbeda, misalnya gandum memiliki kadar pati yang tinggi, sedangkan limbah peternakan memiliki kadar protein yang tinggi. Karena komponen ini memiliki struktur kimia yang berbeda, maka reaktivitasnya juga berbeda. Dari segi penggunaan energi, biomassa berlignoselulosa yang terutama mengandung selulosa dan lignin seperti pohon berada dalam jumlah yang banyak dan mempunyai potensi yang tinggi.

### 2.3.2 Komponen khas biomassa

#### (a) Selulosa

Polisakarida yang tersusun dari D-glukosa yang terhubung secara seragam oleh ikatan  $\beta$ -glukosida. Rumus molekulnya adalah  $(C_6H_{12}O_6)_n$ . Derajat polimerasinya, ditunjukkan oleh n, dengan nilai kisaran yang lebar mulai dari beberapa ribu hingga puluhan ribu. Hidrolisis total selulosa menghasilkan D-glukosa (sebuah monosakarida), akan tetapi hidrolisis parsial menghasilkan disakarida (selobiosa) dan polisakarida yang memiliki n berurutan dari 3 ke 10. Selulosa memiliki struktur kristal dan memiliki resistensi yang tinggi terhadap asam dan basa. Gambar. 2.3.1 menunjukkan rumus struktur selulosa.

#### (b) Hemiselulosa

Polisakarida dimana unit-unitnya adalah terdiri atas monosakarida dengan 5 karbon seperti D-xilosa, D-arabinosa dan monosakarida karbon-6 seperti D-manosa, D-galaktosa dan D-glukosa. Jumlah monosakarida karbon-5 lebih banyak dibandingkan monosakarida karbon-6 dan rumus molekul rata-ratanya adalah  $(C_5H_8O_4)_n$ . Karena derajat polimerisasi (n) hemiselulosa adalah antara 50 sampai 200, yaitu lebih kecil dari selulosa, maka ia lebih mudah terurai dibandingkan selulosa, dan kebanyakan hemiselulosa dapat larut dalam larutan alkali.

Hemiselulosa yang umum adalah xilan, yang terdiri atas xilosa dengan ikatan 1, 4. Gambar 2.3.1c menunjukkan rumus struktur xilan. Hemiselulosa yang lain adalah glukomanan, tetapi semua hemiselulosa beragam jumlahnya bergantung pada jenis pohon dan juga bagian tumbuhan itu sendiri.

### **(c) Lignin**

Merupakan senyawa dimana unit komponennya, fenilpropana dan turunannya, terikat secara 3 dimensi. Strukturnya kompleks dan sejauh ini belum sepenuhnya dipahami. Gambar 2.3.1d menunjukkan unit komponennya. Struktur 3 dimensi yang kompleks ini menyebabkan ia sulit untuk diuraikan oleh mikroorganisme dan bahan-bahan kimia. Berdasarkan pengamatan ini, maka dapat disimpulkan bahwa lignin memberikan kekuatan mekanis dan juga perlindungan untuk tumbuhan itu sendiri. Selulosa, hemiselulosa dan lignin dapat ditemukan secara universal dalam berbagai jenis biomassa dan merupakan sumber daya karbon alami yang paling berlimpah di bumi.

### **(d) Pati**

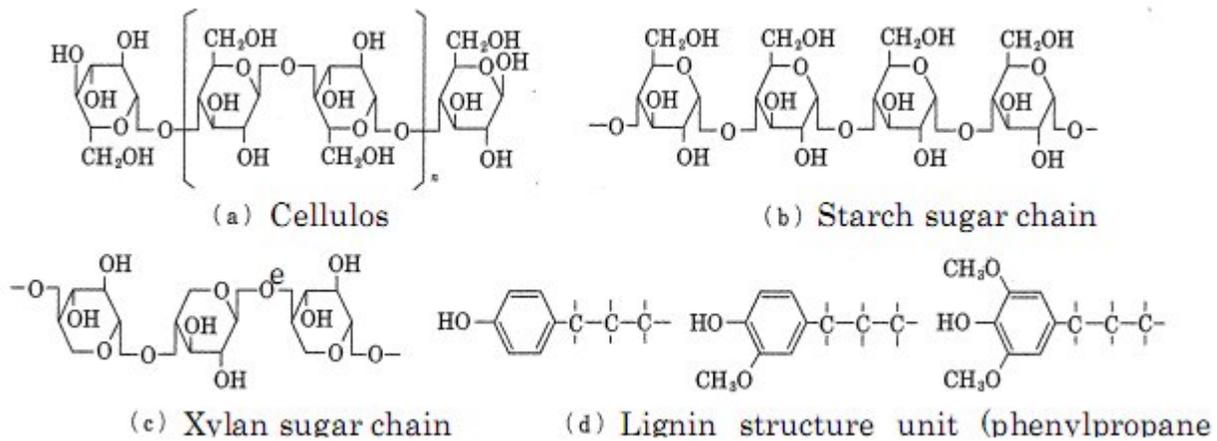
Seperti selulosa, pati merupakan polisakarida dimana unit komponennya adalah D-glukosa, tapi ia dihubungkan oleh ikatan  $\alpha$ -glikosida. Karena perbedaan dalam struktur ikatan, maka selulosa tidak larut dalam air sedangkan sebagian pati (lihat Gambar. 2.3 .1-b) dapat larut dalam air panas (amilosa, dengan bobot molekul antara 10.000 sampai 50.000, mencakup hampir 10% -20% dari pati) dan sebagian lagi tidak dapat larut (amilopektin, dengan bobot molekul antara 50.000 sampai 100.000, mencakup hampir 80% - 90% dari pati). Pati ditemukan di dalam biji, umbi (akar) dan batang, dan mempunyai nilai yang tinggi sebagai makanan.

### **(e) Protein**

Protein merupakan senyawa makromolekul dimana asam amino dipolimerisasi dengan derajat yang tinggi. Sifat-sifatnya berbeda bergantung pada jenis dan rasio komponen asam amino dan derajat polimerisasi itu sendiri. Protein bukan merupakan komponen utama biomassa dan hanya meliputi proporsi yang lebih rendah jika dibandingkan dengan 3 komponen yang sebelumnya.

**(f) Komponen-komponen lain (organik dan anorganik)**

Jumlah komponen organik yang lain berbeda bergantung pada jenis biomassa, tetapi ada juga komponen organik dengan jumlah yang tinggi seperti gliserida (contohnya minyak rapeseed, minyak sawit dan minyak sayur lainnya) dan sukrosa di dalam tebu dan gula bit. Contoh yang lain adalah alkaloid, pig men, terpena dan bahan berlimin. Meskipun komponen ini ditemukan dalam jumlah yang sedikit, namun memiliki nilai tambah yang tinggi sebagai ramuan obat. Biomassa tidak hanya terdiri atas senyawa organik makromolekul tetapi juga mengandung bahan anorganik (abu) dalam jumlah yang sangat kecil. Unsur logam primer termasuk Ca, K, P, Mg, Si, Al, Fe dan Na. Bahan dan jumlahnya berbeda bergantung pada jenis bahan baku.



Gambar 2.3.1. Struktur kimia komponen utama biomassa.

**2.3.3 Analisis komponen biomassa**

Tabel 2.3.1 menunjukkan komposisi untuk jenis biomassa yang utama. Meskipun ada pengecualian, namun secara umum, komponen utama biomassa daratan dari urutan tertinggi ke terendah adalah selulosa, hemiselulosa, lignin dan protein. Biomassa lautan memiliki komposisi yang berbeda. Tabel 2.3.1 menunjukkan biomassa tumbuhan sedangkan Tabel 2.3.2 menunjukkan komposisi endapan dan biomassa limbah lainnya dengan kadar air yang tinggi. Tabel 2.3.1 dan 2.3.2 menggunakan klasifikasi komposisi yang berbeda. Selulosa dan lignin di dalam Tabel 2.3.1 diwakili oleh serat dalam Tabel 2.3.2 sedangkan hemiselulosa di dalam Tabel 2.3.1 termasuk karbohidrat dalam Tabel 2.3.2.

Tabel 2.3.1. Analisis kimia dari biomassa perwakilan (Bagian 1) (%bobot)

| Kategori biomassa | Laut          |      | Air tawar    | Herba          | Kayu          | Limbah   |
|-------------------|---------------|------|--------------|----------------|---------------|--|
|                   | Rumput coklat | laut | Eceng gondok | Rumput bermuda | Hybrid poplar | Bahan bakar yang diperoleh dari sampah, <i>Refuse-derived fuel</i> (RFD) |
| Selulosa          | 4.8           |      | 16.2         | 31.7           | 41.3          | 65.6   |
| Hemiselulosa      | -             |      | 55.5         | 40.2           | 32.9          | 11.2   |
| Lignin            | -             |      | 6.1          | 4.1            | 25.6          | 3.1  |
| Manitol           | 18.7          |      | -            | -              | -             | -  |
| Alginin           | 14.2          |      | -            | -              | -             | -  |
| Protein kasar     | 15.9          |      | 12.3         | 12.3           | 2.1           | 3.5  |
| Abu               | 45.8          |      | 22.4         | 5.0            | 1.0           | 16.7   |
| Total*            | -             |      | 112.5        | 93.3           | 102.9         | 100.1  |

\*Total tidak harus 100 dikarenakan setiap komponen diukur dengan metode yang berbeda

Tabel 2.3.2. Analisis kimia biomassa representative (Bagian 2: biomassa limbah dengan kadar air tinggi). (%bobot)

| Bahan baku biomassa | Sisa fermentasi alcohol (padi) | Sisa fermentasi alcohol (ubi jalar) | Lumpur pati | Mikroalga (Dunaliella) | Eceng gondok | lumpur limbah |
|---------------------|--------------------------------|-------------------------------------|-------------|------------------------|--------------|---------------|
| Kadar air           | 76.7                           | 88.6                                | 82.2        | 78.4                   | 85.2         | 76.7          |
| Abu a)              | 1.3                            | 4.4                                 | 23          | 23.6                   | 19.6         | 16.4          |
| b)                  |                                |                                     |             |                        |              |               |
| Lemak               | 8.3                            | 1.8                                 | 0.7         | 20.5                   | 2.5          | 12.9          |
| Protein             | 56.5                           | 28.5                                | 59.6        | 63.6                   | 24.4         | 42.3          |
| Serat kasar         | 2.1                            | 11.9                                | 5.4         | 1.2                    | 20.6         | 18.1          |
| Karbohidrat         | 33                             | 57.8                                | 34.3        | 14.7                   | 52.5         | 26.7          |
| C                   | 47.9                           | 47.3                                | 44.6        | 53.3                   | 47.6         | 51.4          |
| H                   | 6.7                            | 7                                   | 7.2         | 5.2                    | 6.1          | 7.9           |
| N                   | 7.5                            | 4.2                                 | 9           | 9.8                    | 3.7          | 6.5           |
| O                   | 37.9                           | 41.5                                | 48.2        | 31.7                   | 42.1         | 40.7          |

a) Berbasis bobot kering

b) Berbasis kadar organik

### ***Informasi Lebih Lanjut***

Ogi, T. in “Biomass Handbook”, Japan Institute of Ed., Ohm-sha, 2002, PP. 12-15 (dalam bahasa Jepang)

## 2.4. Kandungan energi biomassa

### 2.4.1. Indikator kandungan energi biomassa

Untuk menentukan sistem energi biomassa, kandungan energi setiap jenis bahan baku biomassa harus ditentukan terlebih dahulu. Nilai kalor seringkali digunakan sebagai indikator kandungan energi yang dimiliki oleh biomassa. Nilai kalor adalah jumlah panas yang dihasilkan saat bahan menjalani pembakaran sempurna atau dikenal sebagai kalor pembakaran. Nilai kalor ditentukan melalui rasio komponen dan jenisnya serta rasio unsur di dalam biomassa itu sendiri (terutama kadar karbon).

#### (a) Nilai kalor tertinggi dan terendah

Biomassa terdiri atas bahan organik seperti karbon, hidrogen, dan oksigen dan saat dibakar secara sempurna, ia akan menghasilkan air dan karbon dioksida. Air dan uap air yang dihasilkan mengandung kalor laten yang terbebas saat kondensasi. Nilai kalor yang meliputi kalor laten disebut sebagai nilai kalor tinggi/high heating value (HHV), sedangkan untuk nilai kalor dimana kalor laten tidak termasuk dalam sistem tersebut disebut sebagai nilai kalor rendah/low heating value (LHV).

#### (b) Kalor yang tersedia

Nilai kalor  $Q_0$  adalah jumlah kalor yang dihasilkan dari pembakaran sempurna per unit bahan dibawah kondisi standar. Biomassa sebenarnya mengandung lebih banyak air dan abu, yang harus dipertimbangkan ketika energi diproduksi. Penilaian hanya berdasarkan nilai kalor rendah adalah tidak cukup sebagai indikator untuk menentukan apakah biomassa dalam kondisi alami akan dapat mempertahankan pembakaran atau tidak. Energi yang diperlukan untuk meningkatkan udara sekitar, suhu yang diperlukan untuk mempertahankan pembakaran, dan juga energi endotermik abu harus juga diperhitungkan. Jumlah kalor yang diperlukan atau disebut sebagai kalor tersedia dihitung berdasarkan persamaan di bawah:

Kalor tersedia  $Q = Q_0 (1-w) - 1000w - [\text{absorpsi kalor terbuang}] - [\text{absorpsi kalor abu}]$

(w: kadar air)

Gambar 2.1.3. menggunakan nilai yang dihitung untuk kalor tersedia  $Q$  pada  $900^\circ\text{C}$ . nilai positif (+) untuk kalor tersedia  $Q$  merupakan kondisi untuk pembakaran yang terjadi.

## 2.4.2. Nilai kalor berbagai jenis biomassa

Tabel 2.4.1 menunjukkan data untuk kadar air, kadar bahan organik, kadar abu, dan nilai kalor dari berbagai jenis biomassa representatif.

Tabel 2.4.1 Analisis khusus dan nilai kalor dari biomassa, batu bara, dan gambut representatif

| Kategori         | Biomassa   | Kadar air* [%bobot] | Bahan organik [%berat kering] | Abu** [%bobot] | Nilai kalor tinggi [MJ/kering-kg] |
|------------------|--|---------------------|-------------------------------|----------------|-----------------------------------|
| Limbah           | Pupuk kandang sapi   | 20-70               | 76.5                          | 23.5           | 13.4                              |
|                  | Padatan bio (biosolid) teraktivasi                                       | 90-97               | 76.5                          | 23.5           | 18.3                              |
|                  | Bahan bakar yang diperoleh dari sampah, <i>Refuse-derived fuel</i> (RDF) | 15-30               | 86.1                          | 13.9           | 12.7                              |
|                  | Serbuk gergaji   | 15-60               | 99.0                          | 1.0            | 20.5                              |
| Tanaman herba    | Sorgum manis   | 20-70               | 91.0                          | 9.0            | 17.6                              |
|                  | Rumput Switch  | 30-70               | 89.9                          | 10.1           | 18.0                              |
| Tanaman perairan | Rumput laut cokelat raksasa  | 85-97               | 54.2                          | 45.8           | 10.3                              |
|                  | Eceng gondok   | 85-97               | 77.3                          | 22.7           | 16.0                              |
| Tanaman kayu     | Kayu putih   | 30-60               | 97.6                          | 2.4            | 18.7                              |
|                  | Hibrid poplar  | 30-60               | 99.0                          | 1.0            | 19.5                              |
|                  | Sycamore   | 30-60               | 99.8                          | 0.2            | 21.0                              |
| Turunan          | Kertas   | 3-13                | 94.0                          | 6.0            | 17.6                              |
|                  | Kulit pinus  | 5-30                | 97.1                          | 2.9            | 20.1                              |
|                  | Jerami   | 5-15                | 80.8                          | 19.2           | 15.2                              |
| Batu bara        | Bitumen illinois   | 5-10                | 91.3                          | 8.7            | 28.3                              |
| Gambut           | Teki reed  | 70-90               | 92.3                          | 7.7            | 20.8                              |

\*kadar air ditentukan dari kehilangan bobot setelah pengeringan pada suhu 105°C di bawah tekanan atmosfer.

\*\*kadar abu ditentukan dari bobot residu (oksida logam) setelah pemanasan pada suhu 800°C

Kadar air sangat berbeda dan bergantung pada jenis biomassa itu sendiri. Misalnya, persentase kadar air untuk kertas adalah 3% sedangkan lumpur adalah 98%. Untuk kebanyakan

jenis biomassa, jika kadar airnya melebihi dua pertiga maka kalor tersedianya adalah negatif (-). Oleh karena itu, meskipun nilai kalor biomassa itu sendiri adalah tinggi, jika ia memiliki kadar air yang tinggi dalam kondisi alaminya, maka tidak sesuai untuk pembakaran. Contohnya, eceng gondok dan lumpur limbah memiliki nilai kalor yang tinggi saat dikeringkan, tetapi kadar airnya 95% saat sampling, maka sebenarnya bahan ini tidak sesuai untuk pembakaran.

Bahan organik total diperoleh dengan cara mengurangi kadar abu dari bahan kering total. Karena nilai abu sebagai energi adalah nol, maka jumlah bahan organik yang tinggi berarti nilai kalornya pun lebih tinggi. Nilai kalor yang tinggi diperlukan sebagai sumber energi. Selain itu, bahan organik memiliki nilai kalor yang berbeda bergantung pada jenis dan rasio unsur penyusunnya (Lihat 2.3 Komposisi Biomassa). Tabel 2.4.2 menunjukkan hasil analisis unsur dan nilai kalor untuk beberapa jenis biomassa representatif dan bahan bakar organik yang lain. Karena biomassa mengandung oksigen yang banyak serta karbon dan hidrogen yang sedikit jika dibandingkan batu bara dan minyak bumi, maka biomassa memiliki nilai kalor per unit bobot lebih rendah dibandingkan dengan batu bara dan minyak bumi. Biomassa jenis kayu dan herba memiliki kadar karbon 45-50% dan kadar hidrogen 5% -6%, memberikan rasio molar H: C sekitar 2 dengan nilai variasi yang kecil. Hal ini karena rasio ini dipengaruhi oleh komposisinya, dimana komponen utamanya adalah selulosa dan lignin.

Tabel 2.4.2. Komposisi unsur khas dan nilai kalor dari berbagai jenis biomass, batu bara, dan gambut.

| Sumber energi              | Selulosa | Pinus | Rumput laut cokelat raksasa | Eceng gondok | Limbah peternakan | RDF   | Lumpur | Gambut | Bitumen |
|----------------------------|----------|-------|-----------------------------|--------------|-------------------|-------|--------|--------|---------|
| Karbon [%bobot]            | 44.44    | 51.8  | 27.65                       | 41.1         | 35.1              | 41.2  | 43.75  | 52.8   | 69.0    |
| Hidrogen [%bobot]          | 6.22     | 6.3   | 3.73                        | 5.29         | 5.3               | 5.5   | 6.24   | 5.45   | 5.4     |
| Oksigen [%bobot]           | 49.34    | 41.3  | 28.16                       | 28.84        | 33.2              | 38.7  | 19.35  | 31.24  | 14.3    |
| Nitrogen [%bobot]          | -        | 0.1   | 1.22                        | 1.96         | 2.5               | 0.5   | 3.16   | 2.54   | 1.6     |
| Sulfur [%bobot]            | -        | 0     | 0.34                        | 0.41         | 0.4               | 0.2   | 0.97   | 0.23   | 1.0     |
| Abu [%bobot]               | -        | 0.5   | 38.9                        | 22.4         | 23.5              | 13.9  | 26.53  | 7.74   | 8.7     |
| Nilai kalor [MJ/kering-kg] | 17.51    | 21.24 | 10.01                       | 16.0         | 13.37             | 12.67 | 19.86  | 20.79  | 28.28   |

Sehubungan dengan kadar air dan sifat lainnya, hasil analisis unsur seluruhnya diperoleh dalam kondisi kering.

### 2.4.3. *Estimasi nilai kalor berdasarkan perhitungan*

Nilai kalor untuk setiap jenis biomassa disajikan dalam Tabel 2.4.1 dan 2.4.2. Nilai pemanasan bisa juga diestimasi melalui perhitungan dengan menggunakan informasi seperti nilai-nilai yang diperoleh dari analisis unsur bahan. Beberapa persamaan telah diusulkan, salah satunya disajikan disini.

$$\text{Nilai kalor tinggi (HHV) [MJ/kering-kg]} = 0.4571 (\text{Standar kering \%C}) - 2.70$$

Tabel 2.4.3. membandingkan nilai kalor yang dihitung dengan persamaan ini dan nilai kalor yang diperoleh dengan pengukuran. Pengecualian untuk lumpur, biosolid, hasilnya tepat mendekati.

Tabel 2.4.3. Perbandingan nilai kalor biomassa hasil pengukuran dan perhitungan

| Biomassa bahan baku         | Nilai kalor tinggi yang terukur | Nilai kalor tinggi yang terhitung | Galat [%] |
|-----------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-----------|
| Selulosa                    | 17.51                           | 17.64                             | +0.59     |
| Pinus                       | 21.24                           | 20.98                             | -1.23     |
| Rumput laut cokelat raksasa | 10.01                           | 9.94                              | -0.70     |
| Eceng gondok                | 16.00                           | 16.09                             | +0.54     |
| Kotoran sapi                | 13.37                           | 13.34                             | -0.19     |
| Biosolid                    | 19.86                           | 17.30                             | -12.90    |
| Bitumen                     | 28.28                           | 28.84                             | +1.98     |

### *Informasi Lebih Lanjut*

Ogi, T. in “Biomass Handbook”, Japan Institute of Ed., Ohm-sha, 2002, PP.16-19 (dalam bahasa Jepang)

## **2.5. Siklus Karbon**

### *2.5.1. Anggaran karbon global*

Karbon di dunia disimpan di atmosfer, lautan, biosfer, dan litosfera. Komponen-komponen karbon ini bisa berubah diantara tempat-tempat penyimpanan tersebut dalam bentuk fase gas (CO<sub>2</sub>) serta dalam fase organik dan anorganik. Menurut IPCC 4<sup>th</sup> Assessment Report, 2007, emisi bahan bakar fosil global termasuk penggunaan bahan bakar fosil dan dari industri semen adalah 6.4 GtC/tahun pada tahun 90-an, dan emisi melalui perubahan penggunaan lahan adalah 1.6 GtC/tahun. Sebaliknya, diperkirakan ketelitian penyerapan lahan bersih dan lautan adalah 2.6 GtC/tahun dan 2.2 GtC/tahun, berturut-turut. Keseimbangan karbon bersih untuk atmosfer pada tahun 1990 adalah 3.2 GtC/tahun (= 8.0-2.6-2. 2) seperti disajikan dalam Tabel 1. Nilai keseimbangan karbon ini telah dinilai berdasarkan pemeriksaan perbandingan terhadap berbagai data yang terkait dengan siklus karbon. Emisi CO<sub>2</sub> bahan bakar fosil global dan keseimbangan karbon bersih ke atmosfer umumnya telah diketahui, akan tetapi data yang lain disajikan pada Tabel 2.5.1 mungkin kurang tepat. Selain itu, ada siklus karbon di tanah dan biosfer lautan, maka keseimbangan karbon bersih juga terkait dengan aktivitasnya. Status siklus

karbon untuk setiap jenis penyimpanan dikontrol oleh manajemen hutan dan perubahan cuaca. Protokol Kyoto, yang mempertimbangkan keseimbangan pengurangan target emisi CO<sub>2</sub> oleh sekeuestrasi karbon di hutan melalui pengelolaan hutan, berlaku efektif pada Februari 2005. Peraturan terkait dengan manajemen yang efektif telah memfokuskan perhatian terhadap peran biosfer daratan di dalam siklus karbon global. Oleh karena itu, data yang tepat diperlukan untuk stok dan siklus karbon pada berbagai ekosistem daratan. Namun, ketidakpastian masih ada pada perubahan dalam penyimpanan karbon dari pengelolaan hutan dan respon perubahan CO<sub>2</sub> ekosistem ke perubahan cuaca.

Tabel 2.5.1. Anggaran karbon global secara konversi, Fluks CO<sub>2</sub> yang meninggalkan reservoir atmosfer. (contoh “penyusutan CO<sub>2</sub>”) mempunyai tanda negatif. Nilai berada dalam kurung merupakan kisaran. Unit:GtC/tahun. NA: tidak ada informasi yang tersedia. (IPCC 4<sup>th</sup> assessment report, 2007)

|                                  | 1980                      | 1990                       | 2000-2005 |
|----------------------------------|---------------------------|----------------------------|-----------|
| Kenaikan atmosfer                | 3.3±0.1                   | 3.2±0.1                    | 4.1±0.1   |
| Emisi (bahan bakar fosil+semen)  | 5.4±0.3                   | 6.4±0.3                    | 7.0±0.3   |
| Fluks atmosfer-lautan            | -1.8±0.8                  | 2.2±0.4                    | -2.2±0.4  |
| Fluks perubahan penggunaan lahan | 1.3<br>(0.3 sampai 2.8)   | 1.6<br>(0.5 sampai 2.8)    | NA        |
| Penyusutan lahan residual        | -1.6<br>(-4.0 sampai 0.3) | -2.6<br>(-4.3 sampai -1.0) | NA        |

### 2.5.2. *Siklus karbon di ekosistem hutan*

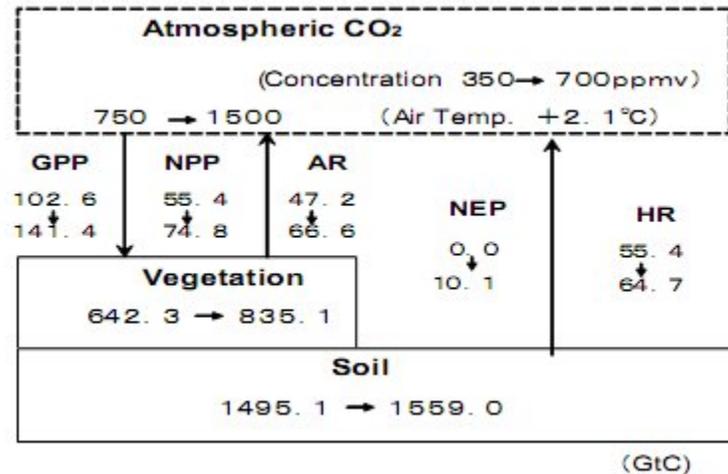
Jumlah global karbon dalam ekosistem hutan adalah 330 GtC untuk biomassa hutan dan 780 GtC di dalam tanah (Dixson dkk., 1994). Selain itu, tingkat penyerapan bersih karbon oleh ekosistem hutan diregulasikan melalui proses fotosintesis dan respirasi dan dikontrol melalui karakteristik meteorologi dan ekofisiologi pohon-pohon di hutan dan tumbuhan tingkat bawah. Jumlah penyimpanan karbon di dalam ekosistem hutan diklasifikasikan menjadi vegetasi di atas tanah, vegetasi bawah tanah, sampah dan sisa kayu, dan juga karbon organik di dalam tanah. Hutan dan tanah secara global mengandung stok terbesar bahan organik, dan karbon organik di dalam tanah memiliki potensi untuk melepaskan CO<sub>2</sub> lebih melalui peningkatan respirasi tanah dan untuk meningkatkan konsentrasi tinggi atmosfer CO<sub>2</sub> dibawah kondisi panas pada masa depan. Batang pohon adalah berguna sebagai kayu dan sebagian kayu tersimpan di dalam rumah

untuk jangka waktu yang panjang. Pertumbuhan tanaman dapat dirangsang dengan cara meningkatkan konsentrasi CO<sub>2</sub> di atmosfer dan pengendapan hara (efek pemupukan). Akan tetapi, dalam bidang studi ini, efek pemupukan terhadap ekosistem hutan tidak jelas.

### 2.5.3. *Model siklus karbon*

Supaya manajemen anggaran karbon di masa depan teratur, model ekosistem tanah yang berguna untuk pengawasan ekosistem dan evaluasi anggaran karbon sangat diperlukan. Untuk mengekstrapolasikan hasil berdasarkan data pengamatan dalam skala ruang dan waktu, kajian lebih diperlukan untuk mengembangkan satelit penginderaan jauh dan model statistik ekosistem. Dengan menggunakan model penggunaan-lahan dan model siklus karbon ekosistem-lahan, kita dapat memprediksi fluktuasi dalam keseimbangan karbon yang disebabkan oleh aktivitas manusia (contohnya manajemen karbon daratan) dan perubahan cuaca di masa depan. Selain itu, kita juga dapat menilai potensi manajemen karbon.

Oikawa dan Ito telah mengembangkan model siklus karbon berbasis proses (Sim-CYCLE) dan telah divalidasi melalui data pengamatan di berbagai tempat pengukuran. Perubahan keseimbangan karbon dan penyimpanan dari sekarang ke masa depan (setelah 70 tahun di bawah 2 kali lipat konsentrasi atmosfer CO<sub>2</sub> dan suhu udara yang lebih tinggi yaitu 2,1 °C) telah diestimasi dengan menggunakan model Sim-CYCLE. Sebagaimana disajikan dalam Tabel. 2.5.1 (T. Oikawa, 2002), stok karbon di dalam tanah dan vegetasi ekosistem-lahan, masing-masing akan meningkat dari 642.3, 1495.1 GtC pada waktu sekarang ke 835.1, 1559.0 GtC di masa depan.



Gambar 2.5.1. Perubahan keseimbangan dan stok karbon dari waktu sekarang ke masa yang akan datang (setelah 70 tahun di bawah dua kali lipat konsentrasi atmosfer CO<sub>2</sub> dan suhu udara yang lebih tinggi yaitu 2,1 °C) telah diestimasi dengan menggunakan model Sim-CYCLE. (T. Oikawa, 2002)

### ***Informasi Lebih Lanjut***

Dixon, R.K., Brown, S.A., Solomon, A.M., Trexler, M.C. and Winiewski, J., Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science* 263, 185-190 (1994)

IPCC Fourth Assessment Report, 2007: A report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

Oikawa, T. Land ecosystem response to global warming (in Japanese), *Suuri-Kagaku*, 2002, No. 470, 78-83.

## **2.6. Biomassa Kayu**

### ***2.6.1. Jenis bahan biomassa kayu dan karakteristiknya***

Industri kehutanan menyediakan bahan biomassa kayu sebagai hasil samping sisa kayu dan juga sebagai produk utama yang ditebang dari pohon-pohon dan hutan. Hutan yang ditanam,

biasanya berjarak untuk mempertahankan ruang pertumbuhan antara tunggul. Pohon-pohon yang ditebang ini bisa digunakan sebagai bahan energi biomassa, karena ia tidak memiliki nilai komersial dan seringkali dibiarkan setelah operasi penebangan. Siklus penebangan untuk zona iklim sedang adalah antara 50 sampai 100 tahun dan sebanyak 0.36 m<sup>3</sup> dahan-dahan dan 0.22 m<sup>3</sup> tunggul akan dibiarkan sebagai sisa-sisa kayu setelah menghasilkan 1 m<sup>3</sup> kayu. Sisa-sisa ini digunakan sebagai sumber energi biomassa modern dan juga tradisional di berbagai negara.

Bahan bakar kayu meliputi 53% dari jumlah kayu yang diproduksi di dunia. Namun, bahan bakar kayu hanya mencakup beberapa persen di kebanyakan negara industri pada masa ini, meskipun negara industri pernah bergantung sepenuhnya pada bahan bakar kayu hingga tahun 1960-an. Di Jepang, hutan kayu keras yang terletak dekat komunitas pedesaan telah digunakan sebagai sumber daya utama untuk bahan bakar kayu dan arang. Kini, hutan kayu keras tidak lagi digunakan sebagai sumber daya kayu, karena nilai kayu keras lebih murah dibandingkan kayu lunak. Meskipun hutan kayu keras tidak memiliki nilai komersial sejauh ini, namun ia memiliki potensi tinggi sebagai sumber energi terbarukan untuk meringankan masalah pemanasan global. Disamping itu, spesies yang bisa tumbuh dengan cepat seperti willow (*Salix*), poplar (*Populus*), dan birch (*Betula*) telah ditanam untuk menghasilkan bahan energi biomassa.

### 2.6.2. *Laju pertumbuhan*

Penggunaan energi biomassa kayu telah berkembang kegunaannya sebagai salah satu usaha untuk mengurangi ketergantungan terhadap sumber energi tak terbarukan seperti bahan bakar fosil. Meskipun biomassa kayu melepaskan karbon ke atmosfer saat ia dibakar untuk menghasilkan energi, pohon yang ditanam kembali akan menyerap jumlah karbon yang sama dari atmosfer ke dalam ekosistem hutan melalui fotosintesis dimana proses ini setara dengan laju pertumbuhan spesies pohon. Laju pertumbuhan bergantung pada suhu, presipitasi, karakteristik tanah dan faktor lingkungan yang lain. Secara umum, tingkat pertumbuhannya rendah di zona subartik dan tinggi di zona tropis. Spesies yang tumbuh dengan cepat seperti kayu putih (*Eucalyptus*), poplar dan *Acacia mangium* di Asia Tenggara bisa menyerap dari 5 hingga 15 ton karbon per hektar tanah setiap tahun. Sedangkan Sugi (*Cryptomeria japonica*), salah satu spesies budidaya di Jepang menyerap karbon dari 2 ke 3,5 ton karbon per hektar setiap tahun.

Pertumbuhan biomassa hutan menunjukkan laju yang tinggi pada tahap awal dan menurun ketika ia mulai dewasa. Tabel 2.6.1 menunjukkan bagaimana hutan buatan manusia menyimpan karbon di dalam biomasnya. Hutan kayu keras yang berlokasi dekat dengan komunitas pedesaan di Jepang pernah menjadi sumber utama bahan bakar kayu. Tabel 2.6.2 menunjukkan peningkatan hutan-hutan ini selama setahun. Jika kita hanya fokus pada kuantitas dan tidak peduli terhadap kualitas kayu, hal ini wajar untuk menjalankan rotasi penebangan pada peningkatan maksimum setahun yang umumnya lebih muda dari rotasi pemanenan kayu yang biasa dilakukan.

Tabel 2.6.1. Karbon biomassa terakumulasi dari hutan buatan manusia.

| Umur | Bobot biomassa (ton/ha) |
|------|-------------------------|
| 10   | 13.5                    |
| 20   | 59.2                    |
| 30   | 105.8                   |
| 40   | 145.9                   |
| 50   | 172.0                   |
| 60   | 189.5                   |
| 70   | 198.0                   |
| 80   | 203.0                   |
| 90   | 206.5                   |
| 100  | 208.6                   |

Tabel 2.6.2. Karbon biomassa terakumulasi dari hutan kayu keras.

| Umur | Bobot biomassa (ton/ha) | Peningkatan rata-rata pertahun (ton/ha) |
|------|-------------------------|---|
| 10   | 18.3                    | 1.8                                     |
| 20   | 41.6                    | 2.1                                     |
| 30   | 59.9                    | 2.0                                     |
| 40   | 74.0                    | 1.9                                     |
| 50   | 85.2                    | 1.7                                     |
| 60   | 93.7                    | 1.6                                     |
| 70   | 100.0                   | 1.4                                     |
| 80   | 104.9                   | 1.3                                     |
| 90   | 109.2                   | 1.2                                     |
| 100  | 112.0                   | 1.1                                     |

### 2.6.3. *Sumber biomassa berkayu*

Menurut statistik FAO, total luas area hutan adalah 4 miliar hektar, sesuai dengan rata-rata 0.62 hektar per kapita. Luas area hutan ini meliputi sepertiga dari jumlah lahan global. Namun, deforestasi merupakan masalah yang signifikan dimana 13 juta hektar lahan hutan telah punah setiap tahun. Selain itu, Cina dan India secara agresif memperluas penanaman baru setiap tahun, sehingga mengakibatkan kehilangan bersih hutan dunia diperkirakan sebesar 7.3 juta hektar per tahun untuk jangka waktu 2000-2005. Disamping deforestasi, ada juga sekitar 1.6 miliar hektar hutan yang telah terdegradasi. Hal ini sangat penting untuk merehabilitasi hutan yang terdegradasi ini untuk lingkungan global dan pembangunan berkelanjutan. Jika biomassa kayu dibatasi untuk biomassa batang kayu, ada 250 miliar ton biomassa kering di dalam ekosistem hutan dunia. Sepertiga dari biomassa kayu kering ini ada di Amerika Selatan.

Luas lahan hutan tanaman adalah 140 juta hektar dan telah meningkat 2.8 juta hektar setiap tahun untuk jangka waktu 2000-2005. Hutan tanaman di negara-negara tropis umumnya terdiri atas spesies-spesies dengan laju pertumbuhan tanaman 15-50 m<sup>3</sup> per tahun untuk *Eucalyptus grandis*, 14-25 m<sup>3</sup> untuk *Acacia mearnsii*, 12 - 35 m<sup>3</sup> untuk *Pinus radiata*, dan 20-50 m<sup>3</sup> untuk *Pinus caribaea*. Laju pertumbuhan tahunan ini 3 kali lipat dari spesies hutan tanaman yang ada di Jepang. Hutan tanaman di negara-negara tropis memiliki potensi yang besar untuk menyediakan biomassa kayu dengan rotasi yang pendek dan biaya yang rendah. Meskipun hutan tanaman berskala besar terkadang dikritik karena biodiversitasnya yang kurang, akan tetapi hutan tanaman dapat menyeimbangkan operasi produksi kayu dan fungsi serta layanan hutan jika ia dikelola secara baik dibawah konsep pengelolaan hutan berkelanjutan. Konsep ini biasanya membutuhkan manajer hutan untuk menjaga tidak hanya hutan tanaman tetapi juga hutan alami dengan spesies asli.

#### ***Informasi Lebih Lanjut***

FAO, Global Forest Resources Assessment 2005, FAO, 2006

FAO, Forest Resource Assessment 1990, 7, FAO, 1995

## 2.7. Biomassa Herba

### 2.7.1. *Arti biomassa herba*

Biomassa herba termasuk rumput dan legume yang tumbuh di padang rumput. Termasuk juga spesies liar yang jarang digunakan disamping hijauan berkualitas lebih tinggi. Secara umum, tanaman pangan seperti padi, gandum, jagung dan tebu mewakili sumber daya biomassa herba. Hasil samping atau residu seperti jerami padi juga dianggap sebagai biomassa herba, akan tetapi penggunaannya sebagai biomassa herba bergantung pada persoalan kualitas. Bambu (*Phyllast achyssp*) dan sasas (*Sasa spp.*) juga dianggap sebagai spesies biomassa berkayu jenis rumput. Rumput tropis tumbuh lebih cepat dari pohon dan menghasilkan lebih banyak biomassa dalam jangka waktu yang singkat. Rumput diklasifikasikan berdasarkan spesies tahunan, termasuk didalamnya berbagai sereal, dan spesies tahunan seperti berbagai rumput hijauan. Legum terdiri atas semak, viny dan jenis kayu dimana semak dan viny dianggap sebagai biomassa herba. Salah satu komponen penting legum adalah kemampuannya untuk mengikat nitrogen melalui simbiosis dengan bakteri *Rhizobium* yang ada di nodul-nodul akar. Hal ini penting dari segi ekonomi untuk mengurangi penggunaan pupuk kimia nitrogen sebagai komponen dalam produksi biomassa. Dengan cara rotasi atau penaburan campuran kultur hijauan dan spesies legum di padang penggembalaan produksi biofuel, aplikasi pupuk nitrogen dapat diminimalkan. Produksi biomassa dari spesies legum sebesar 8-17 ton/ha/tahun untuk alfalfa (*Medicago sativa*) di wilayah Aichi yang beriklim sedang serta 5-19 ton/ha/tahun untuk legum tropis di Pulau Ishigaki yang beriklim sub tropis. Tingkat produksi ini jauh lebih rendah dibandingkan rumput-rampai tropis.

### 2.7.2. *Spesies C3 dan Spesies C4*

Laju pertumbuhan tanaman dikontrol oleh kemampuan fotosintesisnya disamping berbagai faktor lingkungan yang lain. Rumput diklasifikasikan ke dalam spesies C<sub>3</sub> dan spesies C<sub>4</sub> berdasarkan lintasan fotosintesisnya yang khas. Hal ini penting untuk diperhatikan bahwa ada perbedaan dari segi anatomi untuk sel daun dan sel seludang berkas yang terjadi pada rumput C<sub>3</sub> dan C<sub>4</sub>. Biasanya, intensitas cahaya optimum untuk spesies C<sub>4</sub> adalah 50,000-60,000 lux dan lebih dari dua kali lipat untuk spesies C<sub>3</sub> (15,000-30,000 lux). Efisiensi fotosintesis tertinggi

untuk spesies C<sub>4</sub> biasanya dicapai pada suhu dan intensitas cahaya yang tinggi, yang merupakan karakteristik daerah tropis. Namun untuk spesies C<sub>4</sub>, tidak bisa mempertahankan efisiensi fotosintesisnya yang tinggi di bawah intensitas cahaya dan suhu yang rendah. Tabel 2.7.1 menunjukkan rumput gajah diperoleh hasil sebanyak 85 ton/ha/tahun dan tebu sebanyak 64 ton/ha/tahun dengan masing masing memiliki nilai rata-rata sebesar 232 kg/ha/hari dan 176 ton/ha/hari. Hasil tebu dan rumput kuda di daerah subtropis adalah 50 ton/ha (140 kg/ha/hari) dan sebagian dari rumput tropis menghasilkan 25-30 ton/ha (50-80 kg/ha/hari). Karena rumput hijauan umumnya menunjukkan pertumbuhan kembali yang cepat dan bersifat persisten, maka rumput ini telah digunakan untuk produksi biomassa yang berinput rendah dan berkelanjutan. Contohnya, rumput kuda “Natsuyutaka” telah mencapai 40 ton/ha (semua dalam bahan kering) untuk rata-rata 7 tahun di Pulau Ishigaki, Okinawa yang beriklim subtropis. Di daerah beriklim sedang, rumput tropis yang tahan musim dingin seperti rumput bermuda dan rumput bahia menghasilkan 20-30 ton /ha/tahun (50-80 kg/ha/hari), tetapi ia akan menjadi dorman pada musim dingin. Di sisi lain, untuk rumput beriklim sedang, ia bisa menghasilkan 15-26 ton/ha/tahun (40-70 kg/ha/hari) tetapi ia akan menjadi dorman pada musim panas. Manfaat utama dalam pemanfaatan rumput tahunan C<sub>3</sub> dan C<sub>4</sub> untuk produksi biomassa ialah hanya sedikit membutuhkan perawatan, dapat bertahan selama 5-10 tahun, dan menghasilkan pasokan biomassa yang stabil.

Tabel 2.7.1. Biomassa hijauan tahunan.

| Spesies                | Hasil DM (ton/ha/thn) | DM harian (Kg/ha) | Wilayah      |
|------------------------|-----------------------|-------------------|--------------|
| Spesies C <sub>4</sub> |                       |                   |              |
| Rumput gajah           | 84.7                  | 232.1             | Puerto Rico  |
| Rumput kuda            | 51.1                  | 140.0             | Ishigaki, JP |
| Tebu                   | 49.5                  | 135.6             | Okinawa, JP  |
| Spesies C <sub>3</sub> |                       |                   |              |
| Rumput rai tahunan     | 26.6                  | 72.8              | New Zealand  |
| Rumput Orchard         | 22.0                  | 60.3              | New Zealand  |
| Feksu tinggi           | 15.0                  | 41.1              | Kumamoto, JP |
| Timothy                | 15.0                  | 41.1              | Hokkaido, JP |

Tabel 2.7.2. Biomassa tanaman tahunan

| Spesies                  | Hasil DM (ton/ha) | Total hari | DM harian (Kg/ha) | Wilayah     |
|--------------------------|-------------------|------------|-------------------|-------------|
| Spesies C4               |                   |            |                   |             |
| Sorgum                   | 46.6              | 210        | 221.9             | California  |
| Sorgum (green A)         | 28.8              | 190        | 151.6             | Nagano, JP  |
| Jagung                   | 34.0              | 140        | 245.7             | Italy       |
| Jagung                   | 27.2              | 104        | 261.5             | Ohita, JP   |
| Spesies C3               |                   |            |                   |             |
| Beras (Akihikari)        | 19.2              | 134        | 221.9             | Iwate, JP   |
| Gandum<br>(Akiba-komugi) | 14.3              | 219        | 65.3              | Ibaraki, JP |
| Oat                      | 16.4              | 193        | 85.0              | Hyogo, JP   |
| Rai                      | 15.6              | 195        | 80.0              | Tochigi, JP |
| Rumput rai tahunan       | 14.8              | 230        | 4.3               | Chugoku, JP |

Untuk spesies tahunan C<sub>4</sub> seperti jagung yang menunjukkan pembenihan yang bermutu tinggi menyusul perkecambahan dapat menghasilkan kisaran dari 13 - 34 ton/ha sampai 132-260 kg/ha/hari dalam waktu 5 bulan. Hasil ini setara dengan yang dihasilkan oleh rumput gajah tahunan. Data ini menyarankan bahwa hasil tertinggi di kawasan tropis dapat diakses di waktu musim panas di daerah beriklim sedang dengan menggunakan tanaman C<sub>4</sub> ini. Meskipun padi adalah tanaman C<sub>3</sub>, namun ia bisa bersaing dengan spesies C<sub>4</sub> dan menghasilkan sejumlah biomassa yang banyak di daerah beriklim sedang. Namun, sereal musim dingin seperti gandum, hijauan tahunan menghasilkan hasil yang lebih rendah per hari tetapi ia dapat ditanam selama musim dingin.

### 2.7.3. *Produksi primer dan sejumlah biomassa herba yang tersedia*

Biomassa yang ada di savana tropis lebih sedikit dibanding yang ada di hutan hujan tropis. Produksi utama savana tropis, yang mana ia memiliki rizosfera yang banyak dan rumput yang tumbuh secara lebat, hampir sama dengan hutan hujan tropis, di mana rizosferanya tipis dan berkualitas rendah. Oleh karena itu, savana tropis menyumbang secara signifikan terhadap pengurangan CO<sub>2</sub> jika dibandingkan dengan hutan hujan tropis. Dengan kemajuan yang dicapai melalui teknik fermentasi dan gasifikasi, pemanfaatan biomassa herba sebagai biofuel telah menarik minat banyak pihak. Produksi tahunan hasil samping herba diperkirakan 18.95 juta ton (Mt) dari jerami dan sekam padi, 1.90 Mt dari barley dan gandum, 0.5 Mt dari tebu. Tambahan pula, diperkirakan data produksi hijauan adalah 40 ton/ha dalam 560,000 hektar lahan bongkor,

40 ton per hektar dalam 79,000 hektar sawah padi bongkor, 5-20 ton/ha dari tanah yang tidak digunakan untuk jumlah semua sebanyak 32.08 Mt. Jumlah biomassa herba yang ada adalah hampir 53.43Mt/tahun untuk negara Jepang. Akan tetapi sebagiannya digunakan sebagai hijauan untuk sapi.

#### 2.7.4. *Rumput Switch*

##### **(a) Apa itu rumput switch?**

Rumput switch (*Panicum birgatum* L.) adalah rumput tropis tahunan (spesies C4) berasal dari Great Plains, Amerika Serikat. Masyarakat asli di daerah ini menyebut padang rumput yang terdiri atas rumput Switch itu sebagai “Lautan rumput”. Ketinggian tumbuhan bisa mencapai 90-150 cm, panjang bilah daun adalah antara 15-45cm, lebar antara 0.6-1.3cm, dengan rizom yang pendek. Rumput switch memiliki kemampuan untuk mengadaptasikan ke kondisi tanah yang basah dan subur dan juga toleran terhadap kondisi banjir dan kekeringan. Hasil bahan kering tahunan adalah 15 ton/ha (Beberapa data menunjukkan hasil hampir 30 ton /ha) dan juga seperti spesies hijauan yang lain, nilai nutrisinya akan berkurang setelah ia berbunga. Hasil biji adalah sekitar 230 kg/ha dari distribusi secara luas dan sekitar 690 kg/ha dari distribusi secara baris. Bobot 1000 biji adalah berkisar 1.07-1.22 g.

##### **(b) Manfaat rumput switch sebagai bahan baku produksi biofuel**

Di Amerika Serikat, rumput switch telah mendapat perhatian sebagai bahan baku untuk produksi bioetanol melalui fermentasi selulosa. Akan tetapi, rumput ini kurang begitu bermanfaat untuk produksi biofuel di Jepang karena hasil bahan keringnya hampir sama dengan hijauan di daerah beriklim sedang dan iklim tropis. Misalnya, jika 16 ton/ha rumput kering dipanen dan 300 L etanol diproduksi dari 1 ton rumput kering, berbasis pada harga bahan baku, biaya untuk produksi 1 galon etanol dari rumput switch diperkirakan sebesar 0.51-0.89USD, lebih rendah jika menggunakan jagung sebagai bahan baku, yaitu sebesar 0.71-1.21 USD. Laporan ini mengusulkan bahwa potensi konversi 33 juta hektar padang penggembalaan, yang terdiri atas tanah yang kurang subur dan digunakan untuk produksi tanaman rumput kering berkualitas rendah untuk makanan kuda, ke jagung akan mengakibatkan peningkatan yang mendadak terhadap erosi tanah. Akan tetapi, jika rumput switch ditanam di daerah ini, sekitar

520 juta ton rumput kering dapat diproduksi serta dapat membantu untuk mengatasi masalah



Gambar 2.7.1. Percobaan rumput Switch (USDA-ARS, El Reno, OK, USA, Courtesy of DR. B. Venuto)

erosi yang bersumber dari tanaman jagung tahunan. Hal ini sangat penting untuk negara Amerika Serikat, yang ingin mempertahankan lapangan rumput yang besar dan pada waktu yang sama memiliki kebutuhan untuk mengatur sistem penanaman untuk rumput hijau tahunan, seperti rumput switch untuk produksi biofuel.

Bila padang rumput switch telah ditetapkan, maka sistem penanaman yang berkelanjutan dan memiliki input yang rendah

untuk produksi biofuel dapat dilakukan. Sistem ini menyerupai sistem di Jepang yang menggunakan *Miscanthus* untuk tujuan yang sama. Salah satu kekurangan spesies ini adalah dormansi benihnya. Biji benihnya bertambah secara irradikal dan diperlukan lebih dari setahun untuk mencapai dirian penuh.

### (c) Kultivar rumput switch

Beberapa jenis kultivar yang dikembangkan di Amerika Serikat dijelaskan di bawah ini.

#### (1) Alamo

Layanan Konservasi Tanah/Soil Conservation Service (SCS) dan Stasiun Percobaan Pertanian Texas (AES) mengembangkan kultivar ini dari tanaman yang dikoleksi di Texas dan dirilis pada 1978. Ia merupakan jenis “tanah rendah”, berbunga 1 atau 2 bulan kemudian setelah cv.Blackwell, lebih tinggi, daun yang lebih lebar dan toleran terhadap kadar garam yang medium serta produktivitasnya tinggi. Ia bisa tumbuh dengan baik di hampir semua jenis tanah dengan 630 mm atau lebih untuk presipitasi tahunan dari Iowa ke Florida.

#### (2) Blackwell

SCS di Kansas telah mengembangkan kultivar ini dari satu tanaman yang dikumpulkan di Blackwell, UK dan dirilis pada 1994. Ia merupakan jenis “tanah tinggi” dengan ketinggian sederhana dan memiliki batang kayu yang besar, pembenihan yang lebih baik, produksi hijauannya tinggi, dan tumbuh dengan baik di berbagai jenis tanah dengan 500 mm atau lebih

presipitasi tahunan di Kansas, Oklahoma, Nebraska selatan dan Texas utara.

### (3) Cave-In-The-Rock

SCS dan Missouri AES telah mengembangkan kultivar ini dari koleksi di Cave-in-the-Rock, IL dan dirilis pada 1973. Ia merupakan jenis “tanah rendah” dengan pembenihan yang baik, tahan terhadap penyakit dan rebah. Ia juga toleran terhadap banjir dan kekeringan serta tumbuh dengan baik di Iowa, Kansas, dan Missouri.

### (4) Dacotah

SCS dan Northern Great Plains Research Laboratory telah memilih 10 tanaman dari koleksi di Dakota Utara dan kultivar ini dirilis pada 1989. Ia berbunga 27 hari lebih awal dari cv. Forestburg, 45 hari lebih awal dari cv. Blackwell dan cv. Pathfinder. Ketinggiannya lebih rendah dan memiliki toleransi yang tinggi terhadap kekeringan. Ia tumbuh dengan baik di Dakota utara, Minnesota, dan Montana.

### (5) Forestburg

SCS di Dakota Utara dan Northern Great Plains Research Laboratory mengembangkan kultivar ini dari koleksi yang diperoleh dekat Forestburg, ND dan dirilis pada 1987. Kultivar ini mempunyai ketahanan terhadap musim dingin, kemampuan produksi benih yang tinggi, dan kematangan yang lebih dulu dibandingkan kultivar lain. Produksi hijauan di lintang utara melebihi cv. Dacotha, cv. Nebraska 28. Ia tumbuh dengan baik di Montana, Dakota Utara dan Selatan, dan Minnesota.

### (6) Kanlow

AES di Kansas telah mengembangkan kultivar ini dari koleksi di Oklahoma dan dirilis pada tahun 1963. Ia merupakan jenis “tanah rendah” yang produktif dan tinggi, mampu beradaptasi di tanah rendah dimana ada masalah air yang berlebihan, serta mampu tumbuh dengan baik di tanah tinggi dimana tanah tidak terlalu tipis atau kering.

### (7) Pathfinder

Nebraska AES telah merilis kultivar ini sebagai “jenis F” pada tahun 1967 dari uji koleksi progeni silang ganda. Ia merupakan jenis “tanah tinggi”, tahan terhadap musim dingin, cergas, berdaun serta tahan terhadap kekeringan dan karat. Ia tumbuh dengan baik di Nebraska dan daerah perbatasannya.

### (8) Shelter

SCS di New York telah mengembangkan kultivar ini dari koleksi yang dibuat di Virginia

Barat dan dirilis pada 1986. Kultivar ini memiliki batang yang lebih tebal dan daun yang lebih jarang dibandingkan dengan kultivar lain kecuali cv. Kanlow. Ukurannya lebih tinggi dan berbunga lebih awal 7-10 hari dari cv. Blackwell tetapi menunjukkan pembenihan yang kurang baik saat tahun pertama pertumbuhannya. Ia tumbuh dengan baik dengan penyebaran yang luas dari pantai timur ke Arkansas di tengah Amerika Serikat.

(9) Trail Blazer

Nebraska AES telah mengembangkan kultivar ini dari koleksi yang berasal dari Nebraska dan Kansas dan telah dirilis pada 1984. Ia merupakan jenis “tanah tinggi” dan menunjukkan nilai hijauan dan hasil yang tinggi, berbunga bersamaan dengan cv. Blackwell. Ia tumbuh dengan baik di tengah Great Plains dan negeri di daerah timur.

Kultivar tambahan lain yang telah dirilis tetapi tidak dijelaskan adalah cv. Sunburst, cv. Caddo, cv. Summer, dan lain-lain.

***Informasi Lebih Lanjut***

Long, S.P. et al. (eds.): Primary productivity of grass ecosystem of the biosphere, 1-267, Chapman & Hall (1992)

Nakagawa, H.: Development and cultivation of forage and crops for clean biomethanol production to keep global environment, Farming Jpn Vol. 35-2: 22-31 (2001)

Nakagawa, H. and Momonoki, T.: Yield and persistence of guineagrass and rhodesgrass cultivars on subtropical Ishigaki Island, Grassland Science, Vol. 46, pp. 234-241 (2000)

Sakai, M., and Nakagawa, H.: A new biofuel towards 21<sup>st</sup> century, The Chemical Daily Co. Ltd., (dalam bahasa Jepang), pp. 1-197

Burnhart, S., Management guide for the production of switchgrass for biomass fuel in Southern Iowa, <http://www.extension.iastate.edu/Publications/PM1710.pdf>, (2003)

Nakagawa, H., Forage crops in tropics, Association for International Cooperation of Agriculture and Forestry, Tokyo (dalam bahasa Jepang) (1998)

United States Department of Agriculture, Grass varieties in the United State, CRC Press, Boca Raton (1995)

Vogel, P.K., Energi production from forages (or American Agriculture-back to the future), Journal of Soil and Water Conservation, Vol. 51, No. 2, 137-139. (1996).

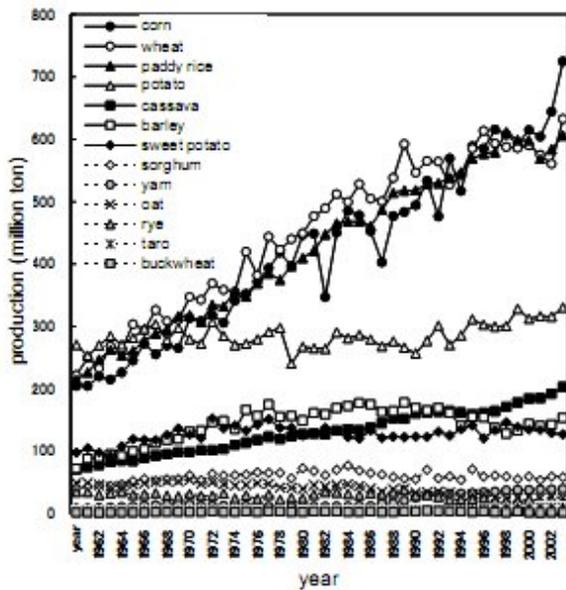
## 2.8. Tanaman gula dan pati

### 2.8.1. Ruang lingkup tanaman gula dan pati

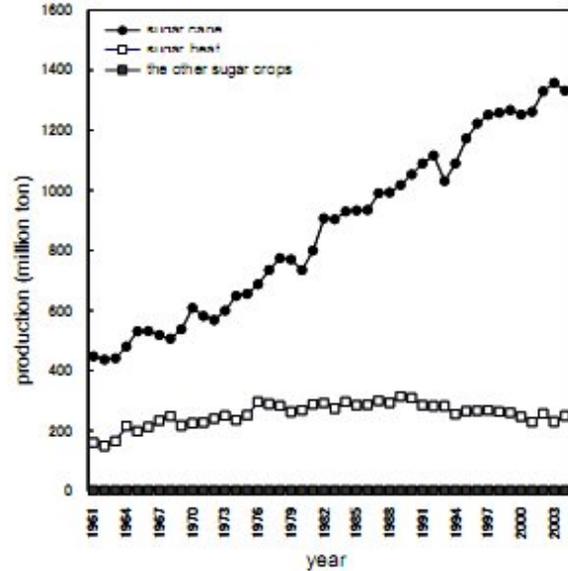
Pati dan gula dapat difermentasi menjadi biofuel seperti etanol, tetapi sakarida berserat seperti selulosa dan hemiselulosa di dalam limbah residu tidak dapat dihidrolisiskan secara mudah menjadi karbohidrat yang dapat difermentasi seperti glukosa.

Beberapa tanaman yang termasuk tanaman pati primer adalah padi (*Oryza sativa* dan *Oryza glaberrima*), kentang (*Solanum tuberosum* L.), ubi jalar (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.), jagung (*Zea mays* L.), gandum (*Triticum* L.), barli (*Hordeums pontaneum* C. Koch (barli liar jenis two rowed); *H. vulgare* L. (barli jenis six rowed); *H. distic hum* L. (barli jenis two rowed))), ubi kayu (ubi kayu pahit, ubi kayu, manioc, manihot, pohon ubi jalar, tumbuhan tapioka, yuca; *Manihot esculenta* Crantz), dan sagu (*Metroxylon sagu* Rottb.). Sebagai tanaman gula primer, tebu (*Saccharum officinarum* L.) dan gula bit (*Beta vulgaris var. altissima*) umumnya telah diketahui.

Hasil ketiga sereal primer ini (jagung, gandum dan padi) meningkat masing-masing bernilai 725, 6.33 dan 6.06 juta ton, dengan jumlah sebanyak 1, 963 juta ton, dimana 86% dari total produksi sereal, yaitu 22.74 juta ton (2004), telah dicapai dari kultivar yang baru melalui kemajuan dalam teknologi budidaya (Gambar. 2.8.1). Akan tetapi, akibat pembatasan teknologi yang ada, perluasan wilayah penanaman membutuhkan teknologi baru seperti modifikasi genetik untuk menghasilkan kultivar yang tahan dingin, kekeringan dan halo. Produksi tebu telah meningkat hingga 1,332 juta ton (2004), sedangkan gula bit meningkat hingga 200 juta ton (Gambar 2.8.2). Total produksi tanaman gula dan pati (4,572 juta ton (2004)) telah memicu konsumsi nutrisi yang tinggi (2,808 kkal / kapita / hari (2003)) untuk 6,370 juta populasi di dunia (2004). Akan tetapi, sekitar 800 juta manusia kebanyakan di daerah populasi yang meningkat di Asia dan Afrika masih terbelenggu dengan masalah kelaparan. Oleh karena itu, sangat wajar ada yang mengkritik bahwa tanaman ini digunakan sebagai tanaman energi “bukan pangan”. Kita seharusnya meningkatkan jumlah bahan makanan dengan cara meningkatkan luas area penanaman dan hasil perolehan tanaman menggunakan teknologi baru seperti modifikasi genetik, sementara mendorong penanaman tanaman energi dan mengembangkan teknologi baru untuk mengubah limbah tanaman menjadi bahan bakar bio (biofuel).



Gambar 2.8.1. Produksi tanaman pati dunia

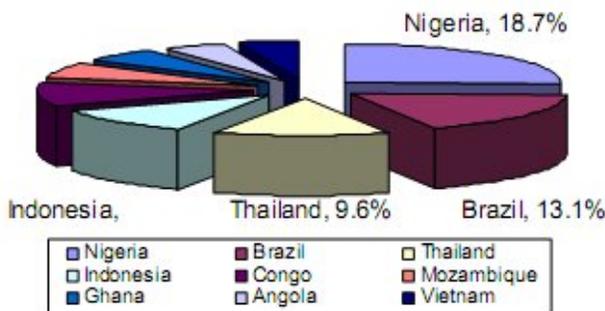


Gambar 2.8.2. Produksi tanaman guladunia

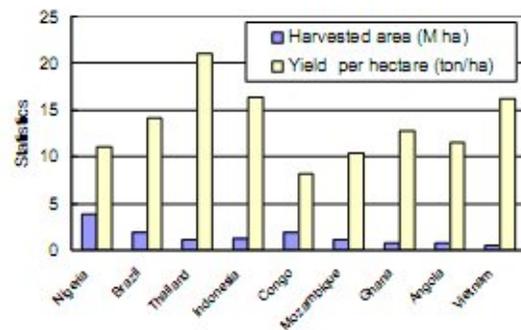
Sumber: FAOSTAT: <http://www.faostat.fao.orf/default.aspx>

## 2.8.2. Ubi kayu

Ubi kayu (*Manihot esculenta*) adalah perdu berkayu dan ditanam secara luas di daerah tropis dan subtropis di dunia. Pada tahun 2006, total produksi ubi kayu dunia adalah 226 juta ton di 18.6 juta hektar lahan panen. Penghasil utama ubi kayu adalah Nigeria diikuti oleh Brasil, Thailand, dan Indonesia (Gambar 2.8.3). Hasil perolehan ubi kayu di Thailand menduduki peringkat pertama sekitar 21 ton/ha pada lebih 1.1 juta hektar lahan panen (Gambar 2.8.4).



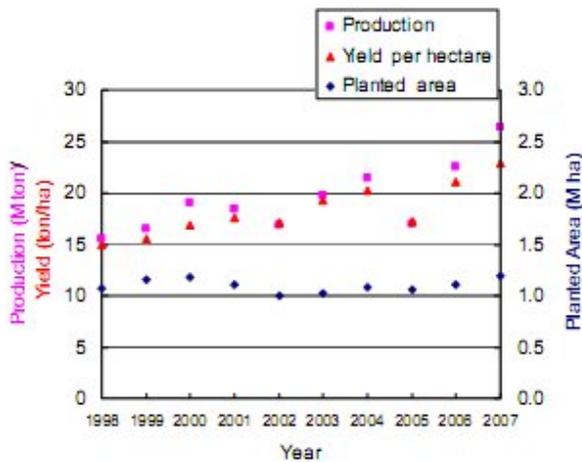
Gambar 2.8.3. Produksi ubi kayu di berbagai negara di dunia tahun 2006.



Gambar 2.8.4. Luas panen dan hasil ubi kayu.

Ubi kayu dapat ditanam melalui pemotongan kayu, dimana ia ditanam pada tanah dengan posisi vertikal dan miring. Ia bisa tumbuh dengan baik meskipun pada tanah yang tidak subur dan juga tahan kekeringan. Akarnya yang berubi dan kaya dengan pati dapat dipanen dengan tangan kurang lebih 12 bulan setelah ditanam, akan tetapi ia juga dapat dipanen sebelum 8 bulan atau selambat-lambatnya setelah 24 bulan. Kandungan pati ubi kayu di Thailand adalah sekitar 25%. Di Thailand, hasil ubi kayu telah meningkat karena pengembangan yang konsisten pada jenis varietas yang lebih baik (Gambar . 2.8.5). Saat ini, Rayong 9 dengan hasil perolehan sekitar 30 ton/ha telah didistribusikan sejak tahun 2006.

Ubi dari kebanyakan varietas mengandung sianida dan ia harus dibuang dengan cara merendam tepung ubi kayu. Ubi kayu telah digunakan sebagai sumber pokok karbohidrat untuk konsumsi manusia di kebanyakan negara-negara tropis, bahkan untuk makanan ternak hewan, dan juga sebagai sumber pati. Produksi bioetanol dari ubi kayu sedang dikembangkan. Produksi ubi kayu di Thailand pada tahun 2007 adalah 27 juta ton dan diagram alir (Gambar. 2.8.6) menunjukkan pemisahan ubi kayu untuk makanan, pakan ternak dan bahan bakar.



Gambar 2.8.5. Sejarah statistika ubi kayu di Thailand.

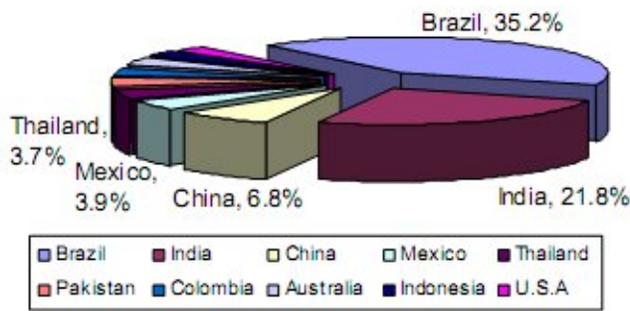


Gambar 2.8.6. Penggunaan ubi kayu di Thailand.

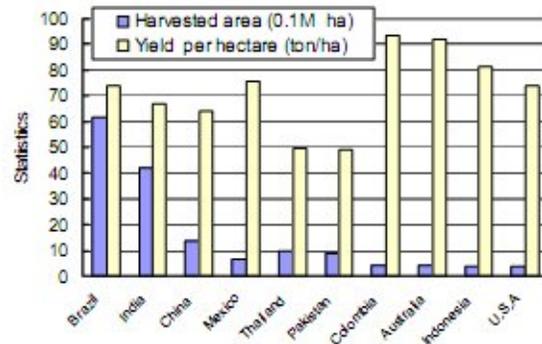
### 2.8.3. Tebu

Tebu adalah rumput tahunan yang tinggi dan ditanam secara luas di daerah tropis dan subtropis untuk produksi gula. Ia adalah dari genus *Saccharum* dan varietas yang paling komersial adalah hibrida *S.officinarum*. Pada tahun 2006, jumlah produksi tebu sedunia adalah

sebanyak 1,392 juta ton di 20.4 juta ton wilayah panen. Penghasil tebu terbesar adalah Brasil dan diikuti India, Cina, Meksiko dan Thailand (Gambar. 2.8.7). Hasil perolehan tebu di Thailand sekitar 49.4 ton/hektar pada rata-rata keseluruhan 0.97 juta hektar luas area yang dipanen (Gambar. 2.8.8).



Gambar 2.8.7. Produksi tebu di berbagai negara di dunia pada 2006.

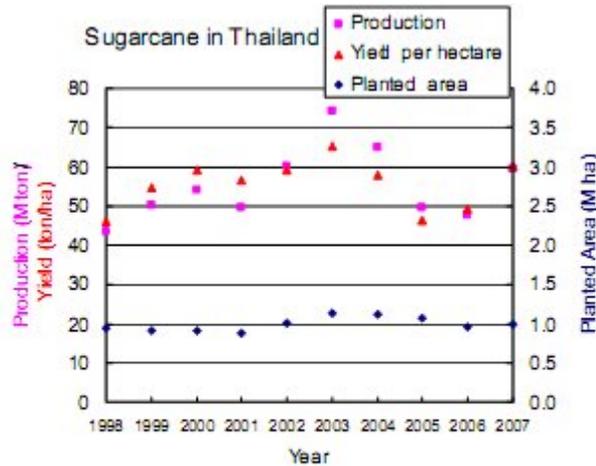


Gambar 2.8.8. Luas area dan hasil perolehan tebu.

Setek batang dengan tunas digunakan untuk penanaman. Tebu adalah sejenis tanaman C4 dengan kemampuan fotosintesis yang tinggi. Suhu optimum adalah antara 20-35°C dan kebutuhan minimum distribusi hujan adalah 1,200 mm /tahun. Batang tebu dapat dipanen antara 9 sampai 14 bulan setelah penanaman menggunakan tangan atau mesin pemanen. Setelah ditanam, tebu dapat dipanen untuk beberapa kali karena batang baru, yang disebut turiang, dapat tumbuh kembali dari tunggul. Bagian atas tebu yang dibuang saat panen dapat digunakan sebagai pakan ternak di beberapa daerah. Selama 10 tahun terakhir ini, produksi tebu di Thailand tidak stabil dan berubah akibat kondisi cuaca dari tahun ke tahun.

Hasil samping dari pabrik gula adalah ampas tebu, kerak filter (residu cairan gula) dan molase. 1 ton tebu kira-kira menghasilkan 105 kg gula, 500 kg air, 280 kg ampas tebu, 30 kg kerak filter dan 55 kg molase. Ampas tebu adalah residu serat setelah diperah dan biasanya diumpun kembali ke dalam ketel kukus untuk menghasilkan uap dalam proses pembuatan gula tersebut. Hal ini membuat pabrik gula mampu mencukupi energinya sendiri. Kerak filter biasanya digunakan sebagai pupuk. Hasil samping yang paling berharga adalah molase yang bisa di proses lebih lanjut menjadi etanol atau monosodium glutamat. Hampir separuh dari tebu yang diproduksi di Brasil digunakan untuk menghasilkan etanol. Etanol, yang dibuat tidak hanya dari molase tetapi juga dari cairan gula, dicampur dengan gasoline (gasohol) sebagai bahan bakar

transportasi. Saat ini, tebu merupakan tanaman paling ekonomis dan ramah lingkungan untuk produksi bioetanol.



Gambar 2.8.9. Sejarah statistika tebu di Thailand.

## 2.9. Biomassa penghasil minyak

### 2.9.1 Apa itu biomassa penghasil minyak?

Biomassa penghasil minyak menghasilkan dan mengumpulkan lemak dan minyak dalam biji atau buah. Komponen utama lemak dan minyak adalah asam lemak triester dan gliserin. Lemak dan minyak digunakan secara luas sebagai makanan, bahan baku industri dan produksi biodiesel sebagai alternatif minyak diesel mineral. Beberapa contoh biomassa penghasil minyak adalah sebagai berikut:

#### (a) Kacang kedelai (*Glycine max* Merrill)

USA, Brasil, Argentina dan Cina adalah negara penghasil utama. Minyak kedelai mengandung asam oleat (20-35%), asam linoleat (50-57%) dan asam linolenat (3-8%). Ia digunakan secara luas sebagai minyak makan dan bahan mentah untuk cat dan varnis.

#### (b) Sesawi (*Brassica campestris* L)

Sesawi ditanam di daerah yang luas dari Asia sampai Eropa karena ia dapat tumbuh meskipun di daerah beriklim dingin. Negara produsen utama adalah Cina, Kanada, India, Jerman dan Perancis. Minyak biji sesawi diekstrak dari biji sesawi mengandung asam oleat (55-59%),

asam linoleat (21-32%) dan asam linolenat (9-15%). Ia digunakan umumnya sebagai makanan seperti minyak goreng dan minyak salad.

### **(c) Pohon kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq)**

Negara produsen utama kelapa sawit adalah Malaysia dan Indonesia. Kelapa sawit memiliki produktivitas minyak tertinggi di antara biomassa penghasil minyak karena buah sawit dapat dipanen beberapa kali dalam setahun. Minyak sawit diperas dari buah sawit mengandung asam lemak jenuh seperti asam palmitat (35-38%) dan asam stearat (3-7%) dan ia tidak hanya digunakan di dalam industri makanan tetapi juga dalam industri detergen.

## *2.9.2. Metode produksi lemak dan minyak*

Untuk pemisahan lemak dan minyak dari biji/buah, proses pemerasan atau proses ekstraksi pelarut telah digunakan.

### **(a) Proses pemerasan**

Digunakan untuk biji dengan kadar minyak yang tinggi seperti biji sesawi secara tumbukan kasar dengan menggunakan penggilingan, pengelupasan, pemanasan pada 75-85C dan pemerasan menggunakan perah asak.

### **(b) Proses ekstraksi pelarut**

Digunakan untuk biji dengan kadar minyak yang rendah seperti kedelai melalui ekstraksi menggunakan heksana.

## *2.9.3. Volume produksi biomassa penghasil minyak*

Produksi biji serta minyak dan lemak dunia (2005/06) disajikan dalam Tabel di bawah. Volume produksi buah sawit dihitung menggunakan volume produksi minyak sawit dan kadar minyak dalam buah sawit.

Tabel 2.9.1 Produksi biji serta minyak & lemak dunia (2005/06, juta ton)

|                         | Kedelai | Sesawi | Bunga matahari | Kelapa      | Inti sawit | Kelapa sawit | Lain-lain | Total |
|-------------------------|---------|--------|----------------|-------------|------------|--------------|-----------|-------|
| Produksi biji           | 220     | 43     | 30             | 5.3 (kopra) | 9.4        | 180 (buah)   | 78.3      | 566   |
| Produksi lemak & minyak | 34.8    | 17.7   | 10.5           | 3.3         | 4.1        | 35.2         | 16.3      | 121.9 |

#### 2.9.4. Bahan bakar biodiesel

Asam lemak metil ester yang diproduksi melalui transesterifikasi lemak dan minyak dengan metanol memiliki sifat fisis yang serupa seperti minyak disel mineral dari segi nilai kalor, viskositas, bilangan setana dan dapat digunakan sebagai bahan bakar biodiesel (alternatif diesel).

Minyak biji sesawi di EU, minyak kedelai di Amerika Serikat dan minyak sawit di Asia digunakan sebagai bahan baku untuk produksi biodiesel. Di negara-negara EU, biodiesel telah berkembang sejak tahun 2002 dan penggunaannya telah mencapai 4 juta ton pada 2005.

#### 2.9.5. Kelapa sawit

Pohon kelapa sawit (*Elaeis guineensis*) berasal dari Afrika Barat. Pertama kali diperkenalkan di Malaysia sebagai tanaman hias. Pada tahun 1917, Penanaman komersial pertama dilakukan di Perkebunan Tennamaran di Selangor, yang merupakan pondasi pertama untuk penanaman kelapa sawit secara besar-besaran dan industri kelapa sawit di Malaysia. Pada tahun 1960-an, pemerintah telah memperkenalkan skema lahan pemukiman untuk penanaman kelapa sawit sebagai salah satu cara untuk menghapus kemiskinan bagi petani-petani yang tidak mempunyai tanah dan pekebun rakyat. Kini, penanaman kelapa sawit di Malaysia kebanyakan adalah berdasarkan sistem manajemen perkebunan dan skema pekebun rakyat. Kini, lebih dari 4 juta hektar lahan di Malaysia adalah untuk penanaman kelapa sawit dengan produksi minyak

sawit sebesar 16 juta ton pada tahun 2006.

Kelapa sawit adalah tanaman yang mengeluarkan baik bunga jantan maupun betina dalam satu pohon. Setiap pohon menghasilkan 12-20 tandan per tahun (biasanya disebut sebagai tandan buah segar, *fresh fruit bunches* (FFB)) dengan berat antara 10-20 kg dengan lebih dari 1000 buah untuk setiap tandan. Setiap buah berbentuk bulat atau lonjong. Secara umum, buah berwarna ungu gelap atau hampir hitam dan warnanya akan berubah menjadi oranye kemerahan ketika telah masak. Setiap buah terdiri atas inti yang keras (biji) di dalam tempurung (endokarp) yang dikelilingi oleh mesokarp yang berisi. Kelapa sawit menghasilkan 2 jenis minyak, yaitu minyak sawit mentah (*crude palm oil*, CPO) dari mesokarp dan minyak inti sawit (*palm kernel oil*, PKO) dari inti sawit atau biji. Batang pohon tanaman muda dan dewasa terbungkus di dalam pelepah sehingga menghasilkan penampakan yang agak kasar. Pohon yang lebih tua memiliki batang pohon yang lebih halus disamping efek lampang yang ditinggalkan oleh pelepah yang telah layu dan gugur.

Pohon kelapa sawit mulai berbuah setelah 3 tahun. Umur paling ekonomis adalah diantara 10-15 tahun, meskipun pohon kelapa sawit dapat terus berbuah hingga 25-30 tahun. Setelah itu, pohon ini akan menjadi tinggi (hingga ketinggian 20 m), dan biasanya ia akan ditebang untuk penanaman kembali dengan pohon atau klon baru. Di Malaysia, pohon-pohon yang ditanam kebanyakan dari varietas *tenera*, hibrid antara *dura* dan *pisifera*. Varietas *tenera* dapat menghasilkan 4 sampai 5 ton minyak sawit mentah (CPO) per hektar setiap tahun dan sekitar 1 ton inti sawit. Pohon kelapa sawit adalah paling efisien, membutuhkan hanya 0.25 hektar untuk memproduksi 1 ton minyak dibandingkan dengan kedelai, bunga matahari, dan sesawi yang masing-masing membutuhkan 2.15, 1.50, dan 0.75 hektar.

### 2.9.6. Kelapa

#### (a) Taksonomi tanaman

Pohon kelapa (*Cocos nucifera*) termasuk ke dalam Kingdom Plantae, Divisi Magnoliophyta, Kelas Liliopsida, Orde Arecales, Keluarga Areaceae, dan Genus *Cocos*.

## **(b) Asal**

Ada 2 pandangan yang berbeda mengenai asal kelapa. Salah satunya adalah ia berasal dari Amerika karena beberapa spesies di dalam genus *Cocos* hanya bisa ditemukan di Amerika dan kehadiran kelapa di Amerika telah dicatat dalam sejarah. Di sisi lain, ada juga orang lain yang mengatakan bahwa kelapa berasal dari Asia seperti yang ditunjukkan melalui penemuan buah dari spesies *Cocos* di dalam deposit Pleiocene di Auckland Utara, Selandia Baru, keberadaan varietas kelapa di Asia Tenggara lebih beragam dibandingkan dengan Amerika serta alasan-alasan lainnya (Banzon, 1982).

## **(c) Deskripsi**

Penjelajah Spanyol menyebutnya sebagai koko, yang berarti “muka monyet” karena 3 lekukan (mata) pada biji berbulu itu menyerupai kepala dan muka seekor monyet. *Nucifera* berarti “biji berbuah”. Pohon kelapa seringkali digambarkan sebagai pohon tahunan. Pohon kelapa memiliki batang pohon yang panjang dan beberapa dahan atau daun pada batang bagian atas, dengan dedaunan hijau, bebungai putih yang tidak mencolok, dan buah berwarna cokelat. Pohon kelapa berbunga terus dengan penghasilan buah dan biji mulai sepanjang tahun dan berkelanjutan. Daun-daun tetap ada dari tahun ke tahun. Pohon kelapa memiliki umur yang relatif sedang dibandingkan spesies tumbuhan yang lain dan tingkat pertumbuhan yang juga sedang. Pada tingkat dewasa, ketinggian pohon kelapa biasanya bisa mencapai 20 m.

## **(d) Ekologi**

Kelapa merupakan tumbuhan yang menyukai matahari dan membutuhkan cahaya matahari yang cukup untuk fotosintesis dan menaikkan suhu udara. Ia dapat tumbuh paling baik pada suhu rata-rata 27°C dan bersifat sensitif pada suhu yang rendah. Kelapa juga tumbuh dengan baik pada distribusi hujan antara 1,300 sampai 2,300 mm per tahun. Ia mungkin bahkan tumbuh dengan baik pada 3,800 mm atau lebih jika tanahnya memiliki drainase yang baik. Ia juga bisa tumbuh dengan sangat baik pada iklim lembap. Tanah yang terbaik untuk kelapa adalah tanah matang yang dalam seperti berpasir atau lempung berdebu atau tanah liat dengan struktur bergranular.

### **(e) Pemuahan**

Varietas yang berbeda akan berbuah pada usia yang berbeda. Varietas kerdil akan mulai berbuah setelah 3-4 tahun penanaman sedangkan varietas yang tinggi akan dimulai setelah 5-7 tahun. Cahaya matahari, distribusi hujan dan suhu yang kompleks mengakibatkan keberkaraan hasil di bulan-bulan yang berbeda dalam setahun. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil yang lebih banyak adalah diperoleh pada bulan Maret hingga Juni.

### **(f) Buah**

Buah kelapa sebenarnya merupakan pelok yang berbiji satu. Di luarnya ada kulit yang aslinya berwarna hijau tetapi berubah coklat ketika ia dipetik dan dikeringkan. Di dalam bagian luar buah ada mesokarp yang terdiri atas pembuluh. Serat ini disebut “sabut” dan digunakan untuk membuat tikar dan tali. Apa yang kita beli di toko adalah sebenarnya batu pelok itu yang memiliki tempurung, endokarp dan biji berada di dalam tempurung itu. Tempurung dapat digunakan sebagai wadah dan digunakan secara luas oleh para pengrajin untuk membuat perhiasan dan dekorasi. Bagian berikutnya ada lapisan biji yang tipis dan ada daging putih atau disebut sebagai “kopra” atau “santan”. Baik kopra maupun santan merupakan endosperm dari biji ini. Kelapa merupakan pohon yang unik diantara lainnya karena mengandung cairan endosperma, yang membanjiri embrio yang muda itu. Awalnya, santan itu agak manis dan kopra berbentuk tipis, akan tetapi ketika biji itu telah mulai matang, cairan itu akan berubah menjadi padatan endosperm yang kaya dengan minyak (trigliserida). Endosperm yang keras itu (kopra) dipanen, dikeringkan, kemudian diperas untuk menghasilkan minyak yang digunakan secara luas sebagai bahan utama untuk sampo dan kondisioner rambut.

### **(g) Bentuk produk kelapa**

Kelapa disebut sebagai pohon kehidupan karena kegunaannya yang banyak. Produk utama kelapa adalah minyak kelapa, kelapa parut kering, kelapa segar, dan kopra (kelapa matang yang kering). Produk utama kelapa yang diproduksi di Filipina adalah kopra, ampas kopra, minyak kelapa, kelapa parut kering, kelapa muda segar dan sabut kelapa. Dari daftar tersebut, kelapa parut kering, kelapa muda segar “buko” dan minyak kelapa merupakan produk dengan permintaan yang paling tinggi di pasar asing.

Diperkirakan dari 14 juta kelapa yang diproduksi di dalam negeri setiap tahun pada 2001-

2005, sekitar 90%-nya diproses menjadi kopra. Produksi kopra setahun adalah diperkirakan 2 juta MT. Bagian yang selebihnya (10%) dari total produksi kelapa dikhususkan untuk pembuatan kelapa parut kering (5%) dan produk kelapa yang lain seperti santan, “buko” dan untuk penggunaan rumah tangga. Dari jumlah kopra yang diproduksi, 62% diproses menjadi CNO mentah-60% diekspor sedangkan 40% sisanya digunakan untuk konsumsi domestik. Ampas kopra atau tepung yang merupakan hasil samping dari produksi kopra mewakili 34% yang tersisa.

Pengolahan produk kelapa menghasilkan produk lain seperti detergen, sabun mandi, sampo, kosmetik, margarin, minyak goreng, kudapan, cuka dan nata de coco. Salah satu zat antara kelapa adalah oleokimia seperti asam lemak dan alkohol lemak.

Saat ini, minyak kelapa mentah diubah menjadi ester kokometil atau lebih populer dikenal sebagai koko biodisel. Selama proses konversi, dihasilkan 2 produk samping, yaitu tepung kopra dan gliserin.

#### **(h) Hasil samping kelapa**

Hasil sampingan utama dari kelapa adalah tempurung kelapa, sabut kelapa dan pelepah kelapa. Tempurung kelapa bisa diubah menjadi karbon aktif sedangkan sabut kelapa dapat diolah untuk menghasilkan arang tempurung kepala, sabut kelapa dan serbuk sabut.

Pembahasan selanjutnya menunjukkan kombinasi tiga hasil samping kelapa yang utama: sabut kelapa, tempurung kelapa dan pelepah kelapa.

Jumlah residu yang dihasilkan selama setahun di dalam negeri adalah setara dengan hasil dari nilai rasio antara residu dengan produk (RPR) untuk residu yang tertentu dan produksi tahunan tanaman atau produk. Nilai RPR untuk tanaman utama disajikan pada Tabel 2.9.1.

Tabel 2.9.1. Nilai rasio residu dengan produk (RPR)

| Residu pertanian | RPR  |
|------------------|------|
| Tempurung kelapa | 0.15 |
| Sabut kelapa     | 0.33 |
| Pelepah kelapa   | 0.33 |

Tabel 2.9.2 menunjukkan nilai kalor dari residu kelapa yang umum yang digunakan di industry.

Tabel 2.9.2. Nilai kalor residu kelapa

| Jenis residu kelapa    | Nilai kalor, Kcal.kg |
|------------------------|----------------------|
| Tempurung kelapa       | 4,436 (I.Cruz)       |
| Arang tempurung kelapa | 6,540 (Lozada)       |
| Arang sabut kelapa     | 6,320 (Lozada)       |

### (i) Kegunaan residu kelapa

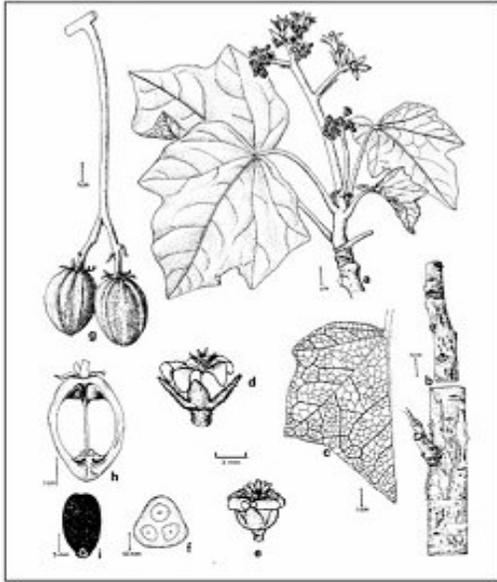
Tempurung kelapa kebanyakan digunakan oleh perusahaan komersial untuk tujuan energi karena nilai kalornya yang tinggi. Pengguna utama tempurung kelapa adalah restoran atau pemilik perusahaan makanan. Tempurung kelapa juga digunakan untuk pengeringan tanaman seperti kopra dan karet. Kegunaan energi yang lain dari tempurung kelapa adalah dalam industri keramik dan pemanasan.

Kebanyakan sabut kelapa yang digunakan untuk pengeringan kopra menggunakan metode tradisional yang disebut “tapahan”. Sisa sabut kelapa digunakan sebagai bahan bakar untuk pabrik roti, pengeringan ikan, pembuatan tembikar, keramik, batu-bata dan persediaan makanan komersial.

Pelepah kelapa digunakan sebagai bahan bakar untuk pengeringan kopra sedangkan yang lain digunakan di restoran, pabrik roti, pengeringan ikan dan sebagainya.

### 2.9.7. *Jarak Pagar*

Nama genus *Jatropha* berasal dari kata Yunani *iatrós* (dokter) dan *trophé* (makanan) yang mengimplikasikan penggunaan medis. *Jatropha curcas* L. berasal dari *Euphorbiaceae* atau keluarga pohon spurge. *Curcas purgans* Medic. Nama umum / daerah: Inggris-*physic nut*, *purging nut*; Thailand-*sabudam*; Indonesia-*jarak pagar*; Cina-*yu-lu-tzu*, Filipina-*túbang-bákod*; Brazil-*mundubi-assu*; Tanzani-*makaen*. Berdasarkan definisinya, ia merupakan pohon tahunan kecil atau tanaman kecil yang dapat mencapai ketinggian hingga 6 m. Tanaman, yang berasal dari Amerika Tengah tumbuh terutama di Asia dan Afrika dan dikenal sebagai *Pourghére*. Ia ditanam di daerah tropis dan semi tropis sebagai pagar hidup. Namun, bijinya beracun untuk manusia dan kebanyakan hewan, dan spesies ini resisten terhadap tingkat kekeringan yang tinggi dan karena itu ia tidak bersaing dengan tanaman pangan. Ia dapat tumbuh tanpa perlindungan



Gambar 2.9.1. Bagian penting jarak pagar. a-cabang berbunga, b-kulit kayu, c-daun, d-bunga betina, e-bunga jantan, f-buah muda dipotong melintang, g-buah, h-buah dipotong membujur;  
 Sumber: *Physic nut, Joachim Heller, IPGRI. Hlm. 11.*

daging tersebut.

**Bunga**-sebagai tumbuhan madu.

**Buah**-Terkadang dipanggang dan dimakan meskipun ia merupakan pencahar. Ia dapat dibakar seperti kemiri. Juga digunakan sebagai alat kontrasepsi di Sudah Selatan.

**Biji**-Minyak telah digunakan untuk pencahayaan, sabun, lilin, bahan pencampur minyak zaitun, dan untuk membuat minyak merah Turki. Minyak merah Turki, yang juga disebut minyak jarak tersulfonasi, merupakan satu-satunya minyak yang benar-benar larut di dalam air. Ia dibuat dengan menambahkan asam sulfat ke minyak jarak pagar murni. Ia merupakan detergen sintetis pertama setelah sabun, karena ia mudah digunakan untuk pembuatan produk pencuci badan. Ia juga digunakan dalam formulasi pelumasan, pelembut, dan membantu dalam pencelupan. Bijinya di beberapa daerah dihargai oleh penduduk sebagai makanan setelah direbus atau dibakar. Masih belum jelas apakah hal ini dikarenakan keberadaan varietas jarak pagar yang tidak beracun di Meksiko dan Amerika Tengah, atau disebabkan biji itu bisa dimakan setelah di masak. Selain itu,

dan dapat digunakan sebagai pagar hidup untuk melindungi ladang tanaman dan juga rumah para petani. Jarak pagar menghasilkan biji dengan kadar minyak sebesar 37%. Apabila bijinya dihancurkan, minyak yang diperoleh dapat diproses untuk menghasilkan bahan bakar biodisel yang berkualitas tinggi (antara 30-35% hasil minyak dapat diperoleh dari 1 kg biji) tanpa perlu disaring terlebih dahulu dan bisa diaplikasikan pada mesin disel standar. Hasil sampingnya adalah bungkil jarak yang merupakan pupuk organik yang baik, disamping itu minyaknya dapat digunakan sebagai insektisida. Hasil samping gliserin dari produksi biodisel dapat berkontribusi pada pendapatan sampingan .

**Kegunaan Lain:**

**Daun**-Daun muda mungkin aman untuk dimakan setelah dikukus atau direbus. Bila dimasak dengan daging kambing, daun ini dapat menghilangkan bau

juga dilaporkan bahwa biji jarak pagar dapat dimakan saat embrionya dihilangkan. Hal ini mungkin disebabkan biji ini berasal dari varietas lokal yang tidak beracun.



Gambar 2.9.2. Bunga jarak pagar.

**Akar** - abunya dapat digunakan untuk menggantikan garam. Ia dapat digunakan untuk membunuh siput, dan sebagai racun manusia, racun ikan dan racun tikus.

**Kulit kayu** - Digunakan sebagai racun ikan.

**Lateks** - Dapat menghambat secara kuat virus mosaik semangka.

**Cairan** - Dapat menandai linen. Terkadang digunakan sebagai penanda.

**Semak** - Orang Meksiko menanam tanaman ini sebagai inang untuk serangga lak, yang dapat digunakan sebagai obat untuk hepatoprotektif dan obat anti obesitas. Juga digunakan untuk kontrol erosi.

### ***Infomasi Lebih Lanjut***

Banzon, J.A.; Velasco, J.R. Coconut: production and utilization. (1982)

## **2.10 Biomassa Tumbuhan Air**

### **2.10.1 Apa itu biomassa tumbuhan air?**

Biomassa tumbuhan air diproduksi di lingkungan air tawar dan laut serta memiliki beberapa potensi untuk digunakan oleh manusia. Biomassa tumbuhan air saat ini termasuk tumbuhan berbiji, ganggang laut, dan mikroalga, kebanyakan diproduksi secara alami dan ada juga melalui produksi kultur yang dibuat oleh manusia.

Biomassa tumbuhan berbiji air tawar adalah tumbuhan air (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) dan juga kiambang. *E. crassipes* berasal dari Brazil tumbuh secara aktif pada 18-32°C tetapi tidak menunjukkan pertumbuhan yang positif pada suhu di atas 34°C dan dibawah 0°C. Belum ada spesies kiambang termasuk hampir 30 spesies yang tercatat pernah dipilih untuk

pemanfaatan biomassa.

Dalam 60 spesies terangkum di dalam 13 genus dari 3 famili (Hydrocharitaceae, Zosteraceae dan Cymodoceaceae) sebagai tumbuhan berbiji air laut (rumput laut) di dunia, rumput belut (*Zostera marina* L.) dan spesies terkait yang terdistribusi diantara garis lintang tengah dan tinggi telah menarik banyak minat untuk digunakan sebagai biomassa (Hartog, 1970).

Alga termasuk makroalga multi sel (ganggang laut) dan mikroalga satu sel (fitoplankton). Ganggang laut kebanyakan hidup di air laut dan sumber pemanfaatan biomassa berasal dari 220 spesies alga merah, 88 spesies alga cokelat dan 27 spesies alga hijau di dunia (Indergaard, 1982).

Mikroalga tersebar secara luas di air tawar dan laut meskipun spesiesnya berbeda. Spesies yang paling menarik untuk dijadikan biomassa saat ini adalah alga hijau dari *Chlorella*, *Scenedesmus* dan *Dunaliella* dan alga biru hijau dari *Spirulina* yang hidup di air tawar. Galur yang terpilih dibiakkan secara tiruan untuk kegunaan biomassa, dan beberapa galur air tawar dibiakkan di air laut setelah perlakuan aklimasi.

### 2.10.2 *Produktivitas*

Produktivitas *E. crassipes* telah tercatat sebagai 11-23 kgFW (berat segar)/m<sup>2</sup>-tahun (0.5-1.2 kgDW (berat kering)/ m<sup>2</sup>-tahun ) selama musim pertumbuhan di Jepang, dan dapat mencapai 21.1 kgDW/ m<sup>2</sup>-tahun di bawah pencahayaan dan nutrisi yang cukup. Produktivitas rumput belut adalah 0.3-0.8 kgDW/ m<sup>2</sup>-tahun (120-320 gC/ m<sup>2</sup>-tahun ), dan *Thalassia* mencapai 5 gDW/m<sup>2</sup>-hari selama 8 bulan di Florida, Amerika Serikat.

Alga merah, *Hypnea*, memiliki produktivitas sebesar 12-17 gDW/ m<sup>2</sup>-hari di tangki luar (Slesser dan Lewis, 1973). Produktivitas mikroalga rata-rata adalah 2-10 gDW/ m<sup>2</sup>-hari di tangki luar dan bisa meningkat hingga 500 gDW/ m<sup>2</sup>-hari dalam kondisi optimum.

### 2.10.3 *Pemanfaatan sumber daya praktis saat ini*

*E. crassipes* yang mengandung semua asam amino esensial menyediakan sumber makanan ternak terbaik untuk hewan seperti babi dan ayam meskipun logam berat yang terkandung dalam tumbuhan harus disingkirkan terlebih dahulu sebelum digunakan. Untuk penggunaan energi, 373 m<sup>3</sup>/tonFW biogas yang mengandung 60-80% metana dan ca. 5,300 kcal/m<sup>3</sup> untuk pembakaran kalori diperoleh melalui fermentasi anoksik *E. crassipes*. Karena *E. crassipes* mengandung 3.2% nitrogen, 0.7% fosfor dan 2.8% kalium di dalam jumlah bersih

DW, maka aplikasi sebagai pupuk dan agen perubahan tanah masih dipertimbangkan.

Biomassa rumput belut digunakan sebagai bagian dari pakan ternak babi laut dan manatee di akuarium. Teknologi kultivasi tiruan rumput belut belum ditetapkan.

Biomassa ganggang laut telah digunakan secara luas di dunia (Tabel 2.10.1). Panen tahunan untuk ganggang laut adalah c a. 1.3 M (juta) tonFW untuk alga cokelat dan ca. 0.81 tonFW untuk alga merah. Kebanyakan darinya adalah alami dan kultivasi tiruan telah meningkat saat ini. Ganggang laut telah digunakan sebagai pakan ternak kering, makanan manusia, pupuk, agen modifikasi tanah dan sebagainya. Bahan-bahan berguna yang terkandung dalam ganggang laut seperti polisakarida unik, iodin dan sebagainya digunakan sebagai bahan baku untuk mengekstrak bahan yang berguna (Indergaard, 1982). Lamun mengandung asam alginat sebesar 13-45% DW yang digunakan untuk menghasilkan makanan, obat-obatan, kosmetik, pencelup warna, cat, pembuatan kertas, bahan finishing interior, minyak pelumas dan sebagainya. Beberapa alga merah mengandung agar-agar dan karagenan seperti agar-agar.

Tabel 2.10.1 Hasil produksi ganggang laut tahunan dan produktivitas potensial di dunia ( $\times 10^3$  ton FW, Michanek 1975 (diambil dari Indergaard 1982))

| Area                        | Alga Merah    |                         | Alga Cokelat  |                         |
|-----------------------------|---------------|-------------------------|---------------|-------------------------|
|                             | 1971-1973     |                         | 1971-1973     |                         |
|                             | Hasil tahunan | Produktivitas potensial | Hasil tahunan | Produktivitas potensial |
| 18 Laut Arktik              | -             | -                       | -             | -                       |
| 21 Atlantik NW              | 35            | 100                     | 6             | 500                     |
| 27 Atlantik NE              | 72            | 150                     | 208           | 2000                    |
| 31 Atlantik pusat W         | -             | -10                     | 1             | 1000                    |
| 34 Atlantik pusat E         | 10            | 50                      | 1             | 150                     |
| 37 Mediteranian, Laut Hitam | 50            | 1000                    | 1             | 50                      |
| 41 Atlantik SW              | 23            | 100                     | 75            | 2000                    |
| 47 Atlantik SE              | 7             | 100                     | 13            | 100                     |
| 51 Hindia W                 | 4             | 120                     | 5             | 150                     |
| 57 Hindia E                 | 3             | 100                     | 10            | 500                     |
| 61 Pasifik NW               | 545           | 650                     | 825           | 1500                    |
| 67 Pasifik NE               | -             | 10                      | -             | 1500                    |
| 71 Pasifik pusat W          | 20            | 50                      | 1             | 50                      |
| 77 Pasifik pusat E          | 7             | 50                      | 153           | 3500                    |
| 81 Pasifik SW               | 1             | 20                      | 1             | 100                     |
| 87 Pasifik SE               | 30            | 100                     | 1             | 1500                    |
| <b>Total</b>                | <b>807</b>    | <b>2610</b>             | <b>1301</b>   | <b>14600</b>            |

Nomor regional mewakili klasifikasi FAO dari wilayah laut dunia

Mikroalga mengandung persen protein yang tinggi mencapai 50-70% DW. Berbagai pemanfaatan mikroalga telah tersedia seperti suplemen untuk perawatan kesehatan, bahan baku untuk mengekstrak pigmen seperti karetenoid dan fikobilin, vitamin dan sebagai pakan ternak untuk organisme air. Disebabkan ukurannya yang mikro dan konsentrasi biomassa yang rendah secara alami, biomassa mikroalga tersedia melalui kultivasi tiruan menggunakan tangki, kolam atau kanal di daerah garis lintang rendah atau menengah yang sesuai untuk penanaman sepanjang tahun. Model bisnis telah diajukan untuk membiakkan mikroalga dengan makanan kulit siput menggunakan air laut dalam yang bernutrisi tinggi (Roels *et al.*, 1979).

#### 2.10.4 *Massa berdiri sumber daya biomassa*

Massa berdiri sebenarnya dari *E. crassipes* dan kiambang belum diperkirakan. Karena *E. crassipes* menyebar secara aktif akibat percepatan eutrofikasi di berbagai daerah lintang rendah di Afrika dimana sungai-sungai besar dipenuhi oleh tanaman ini, maka pemanfaatan biomassa sangatlah diperlukan.

Massa berdiri biomassa dari lapisan rumput laut alami rata-rata adalah 0.1-0.5 kgDW/m<sup>2</sup> dan dapat mencapai hingga 2 kgDW/m<sup>2</sup> di daerah komunitas padat. Lapisan rumput laut semakin berkurang akibat perubahan lingkungan dan reklamasi tanah di dunia, dan juga ketidakefisienan teknik perawatan tiruan dan pemulihan. Berdasarkan anggapan 0.3 kgDW/m<sup>2</sup> dari kepadatan rata-rata dan 90% kadar air di dalam rumput belut, diperkirakan lebih dari 10 Mton biomassa rumput belut di seluruh dunia.

Menurut perkiraan yang dibuat berdasarkan sumber alami ganggang laut oleh Jensen (1978, setelah Indergaard, 1982), permintaan untuk asam alginat adalah 50.000 ton per tahun yang membutuhkan sebanyak 1,30 MtonFW ganggang laut. Permintaan tahunan untuk karagenan, agar-agar, “nori”, “wakame”, dan lamun masing-masing sebanyak 30.000, 20.000, 35.000, 30.000, 250.000 ton dan kuantitas ganggang laut yang dibutuhkan masing-masing sebesar 0.40, 0.50, 0.40, 0.20, dan 2.00 MtonFW. Permintaan ini 1.1-3.0 kali lebih tinggi jika dibandingkan dengan permintaan pada 1970an. Selain itu, ada beberapa M ton FW hingga beberapa 10 M tonFW ganggang laut yang diperlukan untuk pasar makanan, industri kimia, penggunaan energi dan industri bahan kimia dengan kemurnian yang tinggi. Untuk memenuhi kebutuhan ganggang laut yang luas ini, maka diperlukan peningkatan produksi ganggang laut terutama di daerah pesisir dan juga di daerah air terbuka pada masa depan.

#### ***Informasi Lebih Lanjut***

Hartog, C. den. Seagrasses of the world. North Holland, Amsterdam. pp. 275 (1970)

Indergaard, M. The aquatic resource. In Biomass utilization (ed. W. A. Cote) Plenum Press, New York, pp. 137-168 (1982)

Mann, K.H. Ecology of coastal waters: a systems approach. Univ. Calif. Press, pp. 322. (1982)

Roel, O. A.; Laurence, S.; Farmer, M.W.; Hemelyryck, L. Van. The Utilization of cold, nutrient-rich deep ocean water for energi and mariculture. Ocean Managemen, 5, 199-210 (1979).

Slessor, M. and C. Lewis. Biological energi resources. E. & F. N. Spon Ltd., London (1979)

## 2.11 Residu Pertanian

Residu pertanian mengacu pada residu yang diproduksi di ladang atau kebun saat panen dan aktivitas-aktivitas lain. Sebagai sumber daya energi, residu pertanian yang ada termasuk residu yang berasal dari bijian, tanaman rizom, dan tebu. Selain itu, ada sejumlah besar dan varietas residu sayuran yang dapat diproduksi tetapi tidak dipertimbangkan sebagai sumber energi karena sulit untuk mengumpulkan residu tersebut secara efisien dalam skala besar.

### *2.11.1 Jenis dan ciri limbah pertanian*

#### **(a) Padi dan gandum**

Residu padi dan gandum kebanyakan adalah dari sekam dan jerami. Dari semua ini, sekam pada umumnya mengacu pada sesuatu yang diperoleh dari padi. Hal ini karena sekam gandum tidak akan gugur pada saat dipanen dan dapat diproses tanpa harus dilepas terlebih dahulu. Sekam padi hampir seragam dari segi bentuk dan ukuran serta sesuai untuk pemrosesan dan transportasi. Akan tetapi, sekam padi memiliki struktur yang keras dan kurang cocok untuk fermentasi, karena kadar lignin dan silika ( $\text{SiO}_2$ ) yang tinggi. Kebanyakan sekam padi digunakan sebagai bahan bakar untuk pembakaran. Namun, karena kadar silika di dalam sekam adalah 10 – 20 wt%, maka dapat menyebabkan kerusakan pada insinerator saat pembakaran. Di sisi lain, jerami juga mengandung lignin, silika dan sebagainya, namun ia bisa difermentasi dibandingkan dengan sekam dan kini digunakan sebagai sumber energi untuk pembakaran dan juga fermentasi.

#### **(b) Jagung dan tanaman rizom**

Residu jagung dihasilkan tidak hanya sebagai residu di ladang (daun, batang, dan sebagainya) tetapi juga sebagai tongkol jagung setelah pemrosesan. Biji jagung memiliki kadar pati yang tinggi dan digunakan untuk produksi etanol melalui fermentasi di Amerika Serikat.

Tanaman rizom meninggalkan dedaunan dan batang sebagai residu.

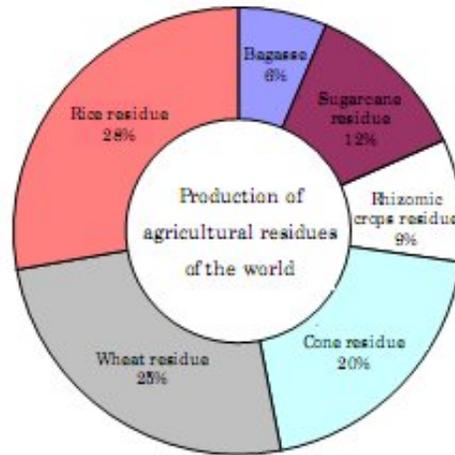
#### **(c) Tebu**

Semua bagian tebu melainkan batangnya, seperti bagian atas tebu yang hanya memiliki kadar gula yang rendah, dedaunan dan akar akan dilepas sebelum batangnya dipindahkan ke pabrik gula, dan bagian ini digunakan sebagai residu.

### 2.11.2 Volume produksi

Meskipun mode dan volume produksi residu pertanian mungkin berbeda dari segi wilayah produksi, tingkat produksi residu relatif terhadap hasil tanaman dilaporkan sebanyak 140% untuk padi, 130% untuk gandum, 100% untuk jagung dan 40% untuk tanaman rizom (Hall et al., 1993). Dalam literatur ini, tingkat produksi residu tebu dari batang, daun dan bagian atas yang diproduksi di ladang saat panen dilaporkan sebesar 28% relatif terhadap hasil tanaman.

Produksi tahunan residu pertanian diperkirakan dengan menentukan produksi setiap jenis tanaman berdasarkan statistik FAO (2000) dan dengan menggunakan nilai produksi residu seperti yang disajikan dalam Gambar 2.11.1. Sekitar 3 miliar ton total residu pertanian diproduksi di seluruh dunia, dimana residu padi merupakan residu terbesar mencapai 836 juta ton. Residu tanaman rizom berjumlah sebanyak 272 juta ton, sedangkan residu gandum dan jagung yang tidak diproduksi di Jepang masing-masing berjumlah sebesar 754 dan 591 juta ton.



Gambar 2.11.1. Produksi residu sereal dan ampas tebu.

### 2.11.3 Potensi bioenergi dunia

Potensi bioenergi dunia untuk residu pertanian pada tahun 2000 disajikan pada Tabel 2.11.1. Nilai-nilai ini diestimasi berdasarkan produksi residu dikalikan dengan faktor konversi energi, faktor ketersediaan dan sebagainya (Hall et al., 1993).

Residu padi memberikan nilai terbesar, yaitu 3.4EJ, diikuti oleh residu tebu dan gandum masing-masing sebanyak 3.3EJ.

Tabel 2.11.1. Potensi bioenergi dari residu pertanian

|                      | Potensi bioenergi (PJ/y) |
|----------------------|--------------------------|
| Residu padi          | 3,407                    |
| Residu gandum        | 3,299                    |
| Residu jagung        | 2,614                    |
| Residu tanaman rizom | 407                      |
| Residu tebu          | 1,550                    |
| Total                | 11,277                   |

### ***Informasi Lebih Lanjut***

Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO Statistical Database, FAO Statistical Database, (<http://www.fao.org/>)

Hall, D. O.; Rosillo-Calle, F.; Williams, R. H.; Woods, J. “Biomass for Energi: Supply Prospects”, In: Renewable Energi, Johansson, T. B. eds., (1993) pp. 594, Washington, Island Press.

## **2.12 Residu Kayu**

### ***2.12.1 Karakteristik dan signifikansi lingkungan***

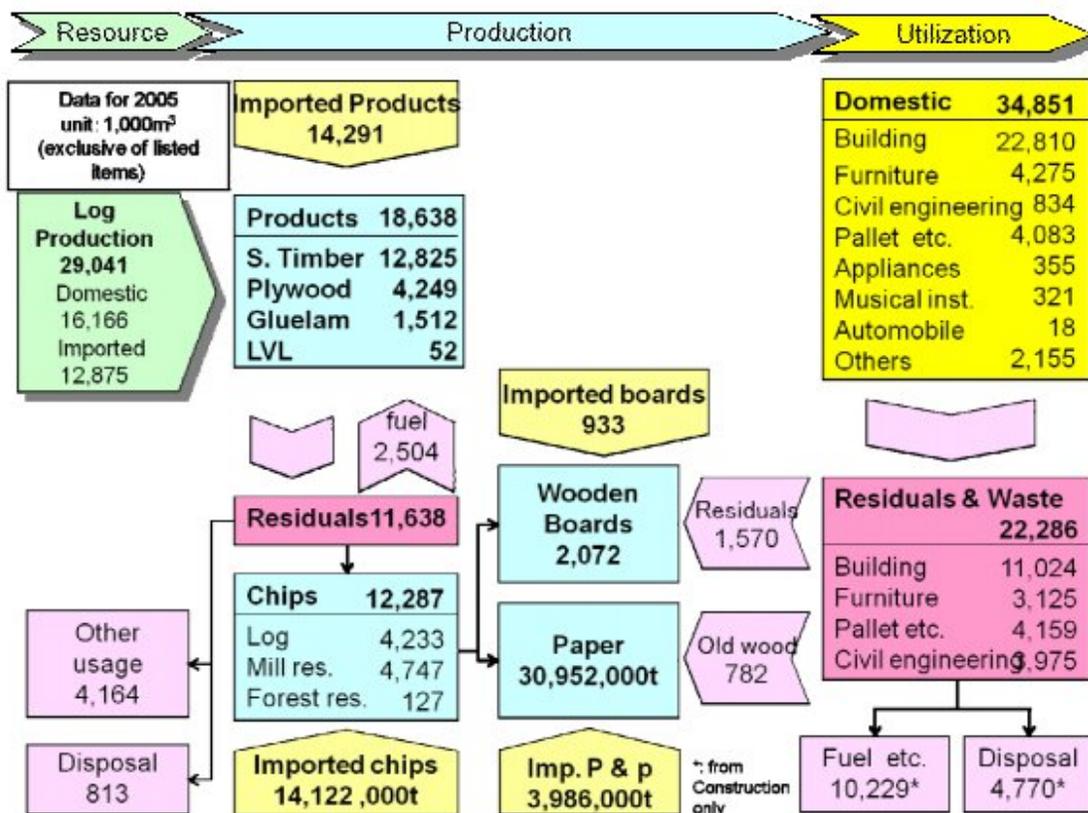
Karbon berbasis kayu dari hutan lestari, dimana jumlah yang dipanen kurang dari jumlah pertumbuhan, beredar di hutan, komunitas manusia dan atmosfer. Kayu dari hutan lestari disebut “netral karbon” karena ia tidak akan mengakibatkan peningkatan konsentrasi karbondioksida di atmosfer. Konsumsi bahan bakar fosil untuk produksi kehutanan lebih kecil jika dibandingkan dengan pertanian atau perikanan, dan lebih kurang energi digunakan untuk menghasilkan produk kayu seperti kayu gergaji atau bangunan berkayu untuk menghasilkan produk baja dan sebagainya. Promosi pemanfaatan kayu dapat memicu pengurangan karbondioksida. Akan tetapi, hanya 30% karbon biomassa kayu dapat disimpan dalam produk akhir kayu seperti bangunan berkayu. Oleh karena itu, penting untuk mencapai keseimbangan antara penghematan sumber daya melalui daur ulang bahan dan penghematan bahan bakar fosil dengan cara menggunakan residu kayu untuk energi.

Densitas kayu dan komposit kayu beragam antara 0.2 hingga 1.0 g/cm<sup>3</sup>, dan bobot kayu berdensitas rendah beragam hingga mencapai 3 kali lipat bergantung pada kondisi kadar airnya. Oleh karena itu, dalam banyak hal, statistik kayu mencantumkan volume sebagai unit. Kebanyakan densitas kayu yang digunakan di Jepang diperkirakan sebesar 0.42 g/cm<sup>3</sup>. Kadar karbon adalah 0.5. Akan tetapi, kadang-kadang nilai kadar karbon sebesar 0.45 digunakan untuk komposit kayu seperti papan partikel atau papan serabut kepadatan sederhana yang mengandung 10%(b/b) rasio perekat sebagai bagian turunan kayu.

### *2.12.2 Residu dari industri kayu*

Jenis dan kadar air residu kayu dari pabrik pengolahan kayu seperti kilang gergaji dan pabrik kayu lapis adalah berbeda satu sama lain. Residu yang lebih besar akan dijadikan kepingan kayu dan dijual untuk bubur kayu atau komposit kayu seperti kepingan kayu dari kilang gergaji atau inti kayu yang telah dikupas dari pabrik kayu lapis. Residu yang lebih kecil seperti kulit kayu, serbuk gergaji, serbuk kayu atau residu venir digunakan sebagai alas hewan ternak di peternakan terdekat, sebagai bahan bakar boiler di pabrik atau sebagai kompos. Hanya 7% dari jumlah anggaran 12 juta m<sup>3</sup> residu kayu yang diproduksi pada tahun 2005 yang dibakar tanpa penggunaan atau dibuang.

Dalam pabrik skala besar, produksi dengan emisi nol dapat tercapai dengan mendaur ulang residu untuk pembangkit listrik atau uap untuk pengeringan kayu. Tetapi untuk kilang gergaji tanpa fasilitas pengeringan atau blender, sistem pemanfaatan residu seperti sistem pengumpulan berskala kecil harus diadakan. Belakangan ini, produksi pelet kayu dari kulit kayu atau serbuk gergaji semakin meningkat karena mudah untuk dioperasikan dan memiliki kerapatan energi yang lebih tinggi.



Gambar 2.12.1. Aliran kayu di Jepang.

Tabel 2.12.1. Pengiriman produk primer kayu untuk sektor pemanfaatan (1.000m<sup>3</sup>) (2005)

|                  | Building      | Furniture & Fittings | Civil eng. | Pallets & Packaging | Home appliances | Musical Instr. | Automobile | Other        | Total         |
|------------------|---------------|----------------------|------------|---------------------|-----------------|----------------|------------|--------------|---------------|
| Sawn timber      | 15,200        | 617                  | 600        | 3,922               |                 |                |            | 650          | 21,197        |
| Plywood          | 4,393         | 2,000                | 33         | 134                 | 192             | 318            |            | 1,297        | 8,367         |
| Particle board   | 565           | 926                  |            |                     | 45              | 3              |            | 6            | 1,544         |
| Laminated timber | 1,581         | 145                  |            |                     |                 |                |            | 110          | 1,836         |
| LVL              | 390           | 114                  |            |                     |                 |                |            |              | 504           |
| Fiber board      | Hard board    | 23                   | 6          | 27                  | 0               |                | 18         | 4            | 78            |
|                  | MDF           | 561                  | 224        |                     | 118             |                |            | 28           | 929           |
|                  | Insulation b. | 90                   | 245        |                     |                 |                |            | 61           | 398           |
| <b>Total</b>     | <b>22,810</b> | <b>4,275</b>         | <b>834</b> | <b>4,083</b>        | <b>355</b>      | <b>321</b>     | <b>18</b>  | <b>2,155</b> | <b>34,851</b> |

### *2.12.3 Residu dari pemanfaatan kayu*

Pada tahun 2005, diperkirakan 22 juta m<sup>3</sup> residu diproduksi dari sektor konstruksi, perabotan, transportasi dan teknik sipil. Residu dari teknik sipil termasuk pohon-pohon yang ditebang selama pekerjaan konstruksi.

Hanya 10% residu didaur ulang sebagai bahan; 1.6 juta m<sup>3</sup> untuk papan partikel, dan lain-lain, serta 0.8 juta m<sup>3</sup> untuk pulp. “Hukum Daur Ulang Konstruksi” mengatur bahwa limbah kayu dari sektor konstruksi dan teknik sipil harus dipisahkan dan didaur ulang. Pada tahun 2005, diperkirakan 62.8% dari 15 juta m<sup>3</sup> residu yang diproduksi telah didaur ulang dalam berbagai cara terutama untuk pembangkit energi kecuali untuk pengurangan volume melalui pembakaran.

Pada periode komitmen pertama Protokol Kyoto, kenaikan harga minyak telah memberikan insentif tambahan pada banyak industri seperti pembangkit listrik, pabrik besi, pabrik semen dan pabrik kertas untuk menggunakan sisa kayu untuk produksi energi. Perusahaan daur ulang juga mendapatkan manfaat karena mereka dapat mengumpulkan biaya pembuangan yang dikenakan untuk pengumpulan residu dari pemanfaatan kayu. Melalui usaha-usaha di atas, tujuan “Hukum Daur Ulang Konstruksi” dapat diakses dan ada kemungkinan pasokan residu kayu tidak mencukupi untuk kebutuhan berikut.

Daur ulang bahan untuk sumber daya konservasi haruslah diutamakan. Akan tetapi, residu dengan bahan perekat atau cat tidak dapat digunakan untuk kepingan kayu dan hampir semua residu papan kayu tidak dapat didaur ulang sebagai bahan. Residu kayu kecil atau komposit yang membutuhkan biaya tinggi untuk didaur ulang sebagai bahan harus dihancurkan dan digunakan sebagai kepingan kayu. Oleh karena itu, dengan cara ini, lebih dari separuh residu kayu dapat didaur ulang sebagai energi tanpa pemborosan dan ini dapat mengurangi konsumsi bahan bakar fosil lebih dari 1 juta ton C.

### *2.12.4 Teknologi pemanfaatan energi*

Selain untuk pohon yang ditebang dari proyek teknik sipil, kadar air residu dari pemanfaatan kayu dianggap sebesar 15% dalam basis kering. Efisiensi energi pembakaran langsung yang berasal dari bahan bakar serpihan kayu relatif tinggi. Ada juga kemungkinan gasifikasi untuk pembangkit listrik atau untuk produksi bahan bakar gas atau cairan. Akan tetapi, ada pertimbangan lebih lanjut yang diperlukan jika menggunakan residu dari industri kayu untuk produksi energi karena kadar airnya bisa mencapai hampir 100% dalam dasar kering dan juga

disebabkan ada banyak jenis limbah. Serbuk gergaji dan kulit kayu yang hanya membutuhkan energi yang kecil dapat digunakan sebagai pelet kayu.

Pemerintah Jepang akan memproduksi 2 juta kL bioetanol dari limbah kayu pada tahun 2020. Karena lignin mengelilingi selulosa dan lain-lain di dalam dinding sel kayu, maka proses sakarifikasi dan fermentasi akan sulit tanpa proses pra perlakuan. Ada pendapat bahwa mobil lebih baik menggunakan listrik dibandingkan bahan bakar cair di masa depan.

### ***Informasi Lebih Lanjut***

Ministry of Land, Infrastructure and Transport Japan: Investigation of construction byproducts 2005 (2006) (dalam bahasa Jepang)

Mayu Takagi, Hachiro Takeda, Takeshi Okano: Trends in the carbon transferred from forests to the populated area of Japan-Estimates from timber supply and demand statistics, Wood Industry, 62(8), 354-357(2007) (dalam bahasa Jepang)

Mario Tonosaki, Yuko Tsunetsugu, Masayuki Ozawa, Kenji Hanaoka: Wood utilization for Japanese forestry, Journal of the Japan Institute of Energi, 84, 973-979 (2005) (dalam bahasa Jepang).

## **2.13 Limbah Hewan**

### ***2.13.1 Apa itu limbah hewan?***

Kotoran dan air kencing dari hewan ternak merupakan produk utama limbah hewan dan sejumlah kotoran serta air kencing tersebut meliputi sebagian besar jumlah limbah organik domestik di Jepang. Kotoran dan air kencing mengandung banyak bahan organik yang dapat terurai dan juga bahan nutrisi seperti nitrogen dan fosfor. Kuantitas dan kualitas kotoran dan air kencing sangat berbeda bergantung pada jenis hewan ternak, bobot, pakan ternak, jumlah air minum, sistem reproduksi, musim dan kondisi hewan ternak. Berdasarkan sifat-sifatnya, kotoran dan air kencing diproses dan disimpan atau digunakan berdasarkan metode yang sesuai. Produk lain dari limbah hewan termasuk limbah dari rumah pemotongan hewan dan hasil samping hasil pengolahan daging.

### 2.13.2 Karakteristik limbah hewan?

Tabel 2.13.1 menunjukkan jumlah ekskresi standar untuk jenis hewan ternak utama. Jumlah kotoran dan air kencing yang diekskresikan dari setiap jenis hewan ternak dihitung berdasarkan ketentuan keadaan standar pakan ternak menurut jenis hewan dan berat badan. Secara umum, kotoran sapi memiliki kadar karbon yang tinggi (rasio C/N: rasio kadar karbon dan nitrogen), akan tetapi mengandung banyak bahan organik yang relatif sulit untuk diuraikan. Kotoran unggas mengandung bahan kimia nutrisi dengan konsentrasi yang tinggi seperti nitrogen, fosfor dan kalium dan juga mengandung banyak jenis bahan organik yang relatif mudah untuk diuraikan. Kategori limbah untuk residu yang diperoleh dari rumah pemotongan hewan adalah bahan yang tidak sesuai sebagai makanan (bagian yang tidak dapat dimakan seperti jeroan, tulang, lemak, darah, kulit dan bulu).

Tabel 2.13.1 Jumlah ekskresi standar untuk hewan ternak utama

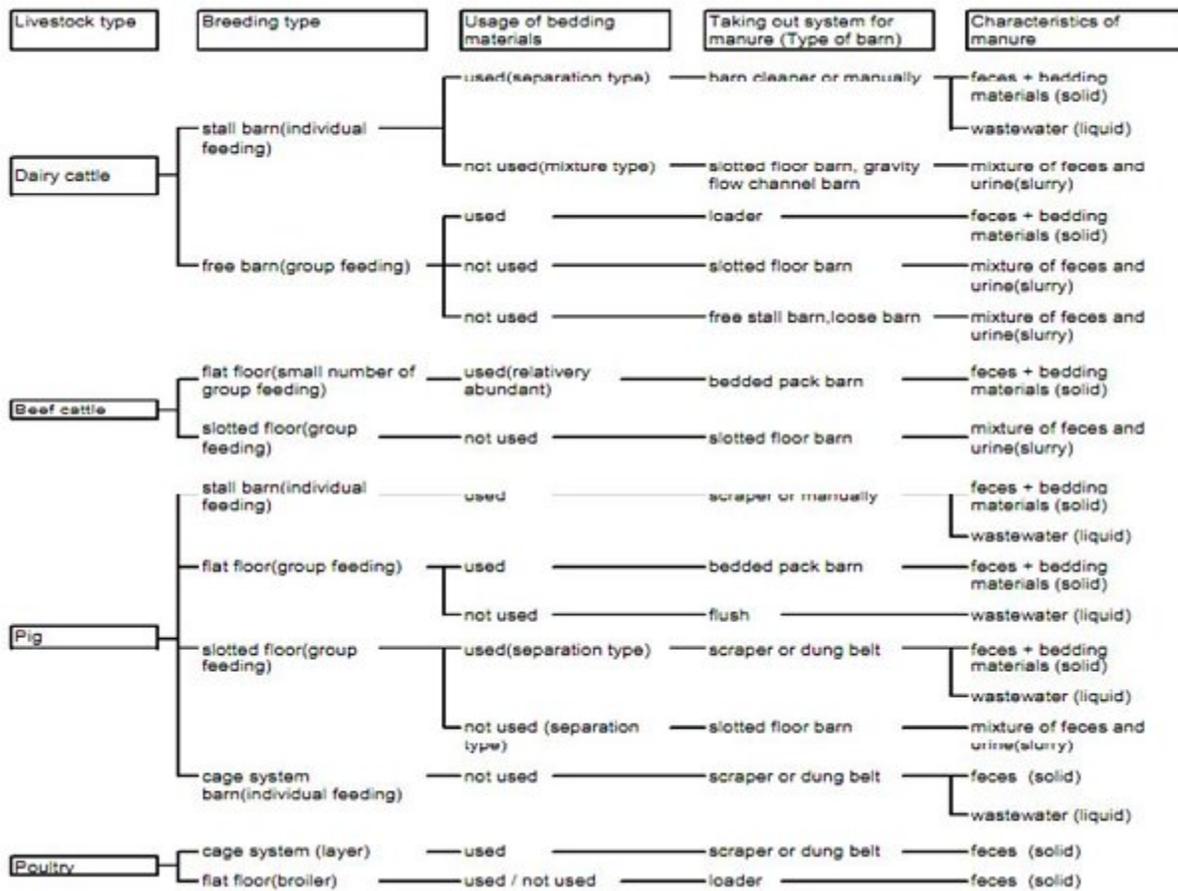
| Jenis hewan ternak |  | Bobot total<br>(kg/kepala/hari) |                |       | Nitrogen<br>(gN/kepala/hari) |                |       | Fosfor<br>(gP/kepala/hari) |                |       |
|--------------------|--|---------------------------------|----------------|-------|------------------------------|----------------|-------|----------------------------|----------------|-------|
|                    |  | Kotoran                         | Air<br>Kencing | Total | Kotoran                      | Air<br>Kencing | Total | Kotoran                    | Air<br>Kencing | Total |
| Sapi<br>perah      | Bersusu                                | 45.5                            | 13.4           | 58.9  | 152.8                        | 152.7          | 305.5 | 42.9                       | 1.3            | 44.2  |
|                    | Tidak bersusu                          | 29.7                            | 6.1            | 35.8  | 38.5                         | 57.8           | 96.3  | 16.0                       | 3.8            | 19.8  |
|                    | Sapi betina muda                       | 17.9                            | 6.7            | 24.6  | 85.3                         | 73.3           | 158.6 | 14.7                       | 1.4            | 16.1  |
| Sapi<br>potong     | Sapi pembiakan<br>(di bawah 2 tahun)   | 17.8                            | 6.5            | 24.3  | 67.8                         | 62             | 129.8 | 14.3                       | 0.7            | 15.0  |
|                    | Sapi pembiakan<br>(2 tahun atau lebih) | 20.0                            | 6.7            | 26.7  | 62.7                         | 83.3           | 146   | 15.8                       | 0.7            | 16.5  |
|                    | Sapi pembiakan<br>bersusu              | 18.0                            | 7.2            | 25.2  | 64.7                         | 76.4           | 141.1 | 13.5                       | 0.7            | 14.2  |
| Babi               | Babi<br>penggemukan                    | 2.1                             | 3.8            | 5.9   | 8.3                          | 25.9           | 34.2  | 6.5                        | 2.2            | 8.7   |
|                    | Babi betina<br>dewasa                  | 3.3                             | 7.0            | 10.3  | 11.0                         | 40.0           | 51.0  | 9.9                        | 5.7            | 15.6  |
| Ayam<br>petelur    | Anak ayam                              | 0.059                           | -              | 0.059 | 1.54                         | -              | 1.54  | 0.21                       | -              | 0.21  |
|                    | Dewasa                                 | 0.136                           | -              | 0.136 | 3.28                         | -              | 3.28  | 0.58                       | -              | 0.58  |
| Ayam<br>pedaging   | Dewasa                                 | 0.130                           | -              | 0.130 | 2.62                         | -              | 2.62  | 0.29                       | -              | 0.29  |

### *2.13.3 Produksi limbah hewan*

Berdasarkan data yang ditunjukkan pada Tabel 2.13.1, jumlah produksi limbah hewan ternak tahunan di Jepang diperkirakan sebanyak 60.7 juta ton kotoran dan 27.7 juta ton air kencing (Tabel 2.13.2). Limbah hewan ternak di Jepang mengandung 670 ribu ton nitrogen dan 108 ribu ton fosfor. Kadar ini sangat besar dengan mempertimbangkan jumlah nitrogen dan fosfor yang digunakan sebagai pupuk kimia di Jepang masing-masing adalah 480 ribu ton dan 250 ribu ton. Statistik untuk jumlah residu dari rumah pemotongan hewan tidak tersedia, akan tetapi kuantitasnya (sekitar 1.5 juta ton) adalah kurang 2% dari jumlah besar limbah hawain.

### *2.13.4 Perlakuan umum dan penggunaan limbah hewan*

Dr. Haga (Organisasi Penelitian Pertanian dan Makanan Nasional) telah meringkas sistem utama yang telah digunakan untuk perlakuan terhadap limbah hewan ternak di Jepang (Gambar 2.13.1). Berdasarkan hasil investigasi oleh Biro Produksi Pertanian dari Departemen Industri Hewan Ternak, bagian padat dari kotoran biasanya hanya dikumpulkan atau ditangani dengan proses pengomposan yang sederhana sedangkan bagian cairan akan disimpan atau digunakan di ladang sendiri sebagai pupuk pada peternakan sapi perah dan sapi potong. Untuk kasus perkembangbiakan babi, sistem pengomposan dengan aerasi merupakan metode utama yang digunakan untuk memproses bagian padat dan sistem pemurnian air limbah telah digunakan di banyak ladang untuk merawat bagian cairan. Selain itu, untuk kebanyakan kasus setelah perlakuan pengeringan, kotoran ayam pedaging dan petelur akan dijual dan digunakan di ladang yang lain. Secara umum, petani sapi penghasil susu dan daging memiliki tanah sendiri untuk peternakan sedangkan petani babi dan unggas tidak memiliki tanah sendiri. Ini merupakan alasan mengapa ada perbedaan perlakuan terhadap limbah hewan ternak. Residu dari rumah pemotongan hewan dan hasil sampingan lain dari pemrosesan daging diperlakukan melalui proses yang disebut “rendering”, dan kebanyakan darinya digunakan sebagai lemak dan minyak yang dapat dimakan, pakan ternak atau sebagai sumber industri.



Gambar 2.13.1. Jenis pembiakan utama dan karakteristik kotoran untuk setiap jenis hewan ternak.

### 2.13.5 Nilai dan total jumlah limbah hewan di dunia

Untuk menghitung nilai limbah hewan ternak sebagai sumber daya, pertimbangan harus diberikan terhadap nilainya sebagai 1) sumber nutrisi untuk tanaman (nitrogen, fosfor, dan sebagainya), 2) sumber senyawa organik dengan efek positif terhadap pertumbuhan tanaman dan 3) sebagai sumber energi. Disebabkan adanya perbedaan antara kondisi pembiakan, maka sulit untuk menghitung secara tepat jumlah nutrisi seperti nitrogen dan fosfor di dalam kotoran untuk semua hewan ternak di seluruh dunia. Berdasarkan statistik FAO, total nutrisi di dalam kotoran untuk semua hewan ternak di dunia telah diperkirakan sebanyak 140-150 kali lebih besar dari yang diproduksi di Jepang.

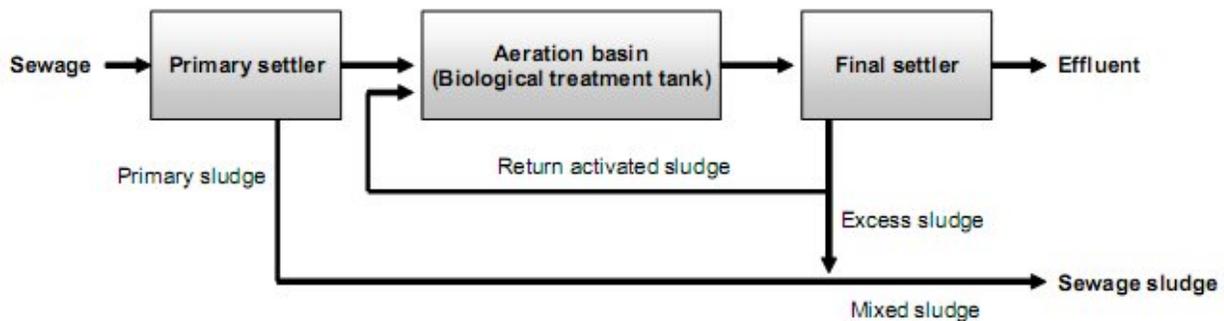
## 2.14 Lumpur Limbah

### 2.14.1 Apa itu lumpur limbah?

Lumpur limbah didefinisikan di dalam teks ini sebagai bahan padat yang dibebaskan dari fasilitas perlakuan air limbah lumpur yang diaktifkan sebagai hasil perlakuan air limbah aerob. Lumpur limbah ini biasanya adalah campuran bahan yang dapat mengendap di dalam limbah dan diproduksi oleh mikroorganisme, serta memiliki kadar bahan organik yang tinggi, sehingga dapat dipertimbangkan sebagai biomass yang dapat digunakan kembali.

### 2.14.2 Jenis dan karakteristik lumpur limbah

Proses standar lumpur yang teraktivasi disajikan pada Gambar 2.14.1 sebagai proses perlakuan air limbah organik yang khas.

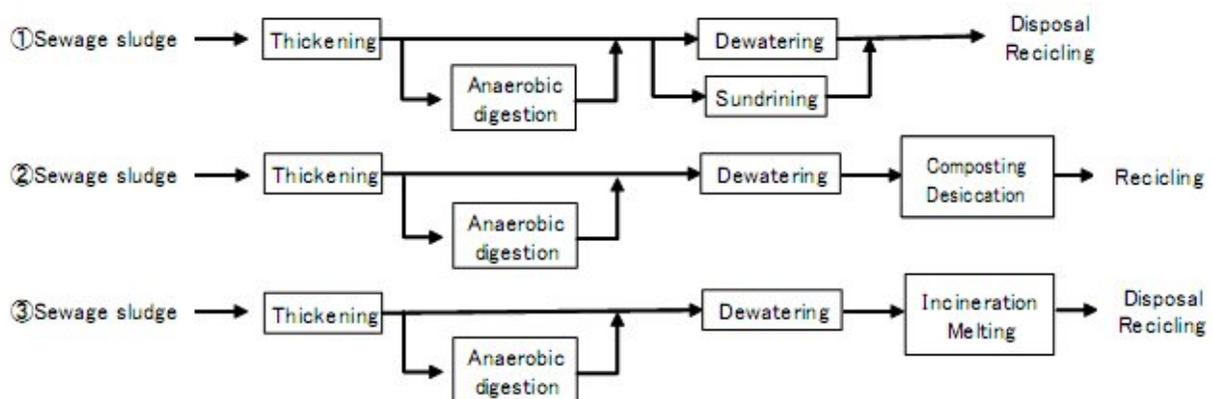


Gambar 2.14.1 Proses standar dasar lumpur teraktivasi

Dalam proses lumpur teraktivasi, bahan yang dapat mengendap yang terkandung di dalam limbah yang masuk akan dikeluarkan di pencampur primer dan ditinggalkan sebagai lumpur mentah. Limbah ini kemudian disalurkan ke kolam aerasi dimana limbah ini akan dicampur kembali dengan lumpur teraktivasi, diudarakan dan diaduk dengan kuat. Campuran limbah dan lumpur teraktivasi di dalam kolam aerasi ini disebut campuran likuor. Kebanyakan bahan pencemar organik dikeluarkan dari fase cairan melalui bioadsorpsi dan akhirnya terurai melalui asimilasi mikroba terhadap lumpur teraktivasi. Campuran likuor itu kemudian disalurkan ke pencampur akhir dimana padatan tersuspensi (lumpur teraktivasi) akan terendap dan disingkirkan sebagai lumpur teraktivasi kembali. Sebagian dari lumpur teraktivasi kembali ini

dibebaskan dari fasilitas sebagai lumpur berlebih dan kuantitasnya hampir sama dengan jumlah mikroba yang diproduksi di kolam aerasi. Lumpur limbah ini merupakan campuran lumpur mentah dan lumpur berlebih atau setiap lumpur ini dibebaskan secara terpisah.

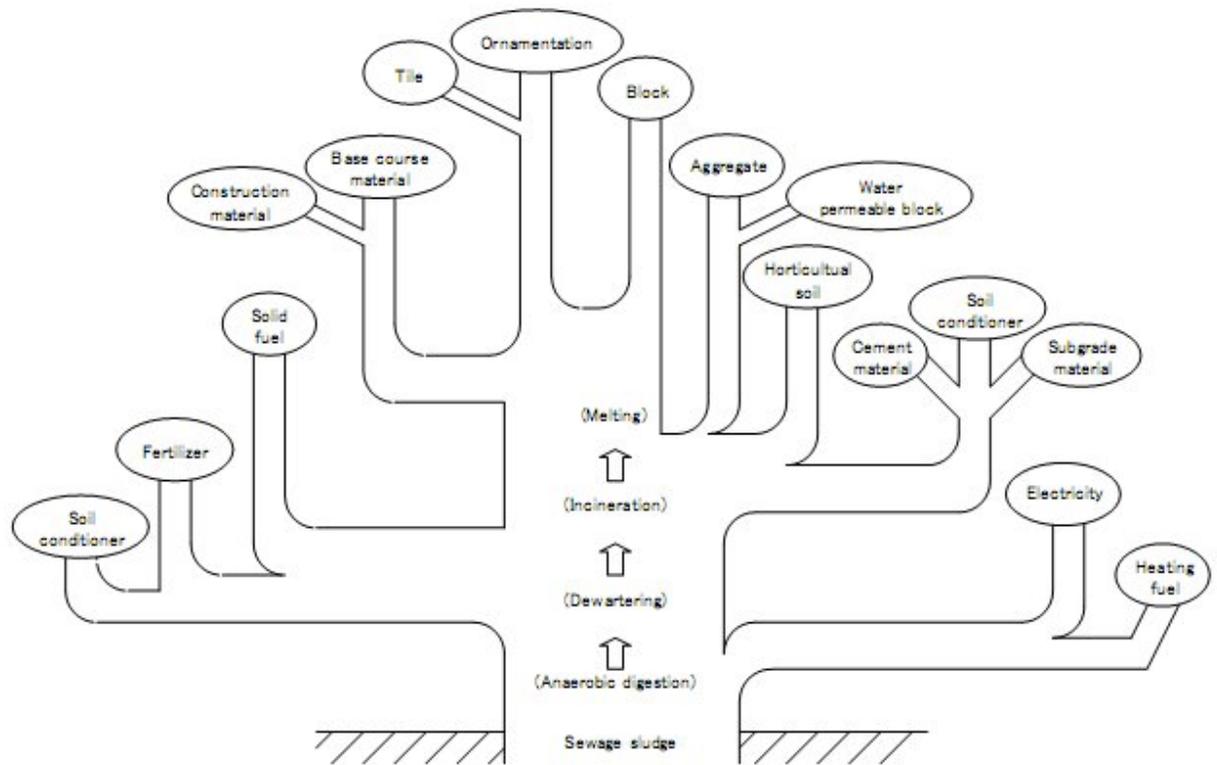
Lumpur limbah yang dibebaskan ini akan dipekatkan sebelum menjalani proses akhir, yaitu pembuangan ke tempat pembuangan akhir atau didaur ulang setelah perlakuan pertengahan seperti pembakaran atau pencairan gasifikasi. Proses perlakuan dan pembuangan khusus untuk lumpur limbah disajikan pada Gambar 2.14.2 di bawah.



Gambar 2.14.2. Proses perlakuan khusus untuk lumpur limbah.

### 2.14.2 Pemanfaatan Lumpur limbah

Melalui berbagai variasi tingkatan perlakuan termasuk pencernaan anerob, pengawaairan, pengeringan, pembakaran dan/atau pelelehan, lumpur limbah didaur ulang dan dimanfaatkan sebagaimana disajikan pada Gambar 2.14.3.



Gambar 2.14.3. Contoh daur ulang lumpur.

Melalui perlakuan pencernaan anaerobic, bagian organik dari lumpur limbah ini akan diuraikan oleh mikroba anaerob dan diubah menjadi biogas. Karena biogas kebanyakan mengandung metana dan karbon dioksida, maka ia dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk mesin gas atau ketel gas untuk pembangkit listrik dan/atau uap/air panas, yang mana dalam gilirannya, dapat digunakan pada fasilitas perlakuan air buangan.

Hasil sampingan dari perlakuan pengawaaيران, pembakaran dan pelelehan lumpur limbah dapat dimanfaatkan sebagai pupuk/pengondisi tanah untuk aplikasi pertanian atau sebagai bahan konstruksi seperti agregat, ubin, atau balok yang permeable terhadap air untuk aplikasi teknik sipil. Perkembangan yang cepat daur ulang dan pemanfaatan hasil samping dari perlakuan lumpur limbah diperkirakan akan berlanjut pada masa yang akan datang.

### ***Informasi Lebih Lanjut***

Japan Sewage Works Association: Sewage facilities planning, policy and explanation (second part) 2001, pp. 15-47, Japan (2001) (dalam bahasa Jepang)

Japan Sewage Works Association: Sewage facilities planning, policy and explanation (second part) 2001, pp. 335, Japan (2001) (dalam bahasa Jepang)

Japan Sewage Works Association: Japan Sewage Works 2005, pp. 141, Aikosha (2005) (dalam bahasa Jepang)

The Japan Institute of Energi: Biomass Handbook, Ohmsha, pp.70-72, Ohmsha (2002) (dalam bahasa Jepang).

## **2.15 Limbah Padat Kota**

Komponen utama biomassa di dalam limbah padat kota adalah limbah makanan dan kertas, sehingga proses biologis (2.15.1 dan 2) atau termal (2.15.3 dan 5) digunakan untuk mendapatkan kembali energi dari fraksi biomassa.

### *2.15.1 Perolehan kembali metana di timbunan tanah*

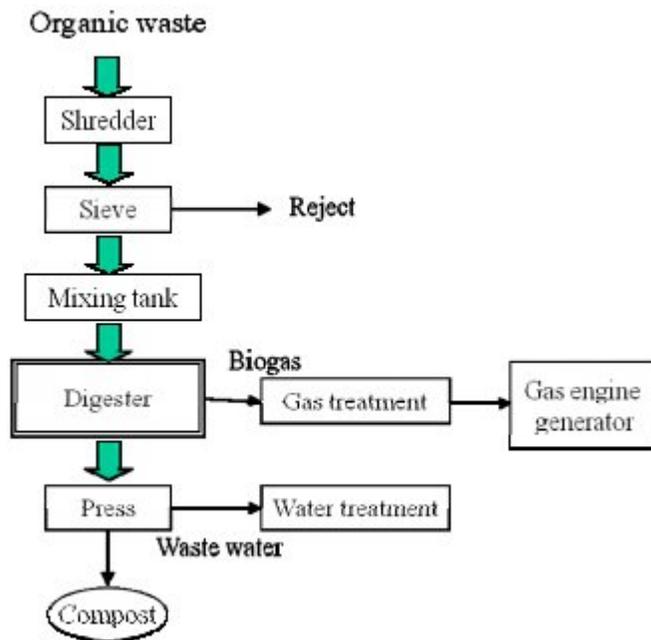
Di timbunan tanah yang mengandung limbah organik, Biodegradasi anaerob biomassa akan menghasilkan gas metana disebabkan oksigen terdifusi dari atmosfer akan digunakan dekat pada permukaan timbunan tanah. Gas timbunan tanah dapat menyebabkan kerusakan pada pertumbuhan tanaman dan bahkan dapat menyebabkan ledakan pada bangunan terdekat. Oleh karena itu, metode kontrol gas termasuk pembakaran telah diimplementasikan sejak 1960-an. Dalam timbunan tanah skala besar, sumur vertikal telah dipasang untuk memompa gas keluar, yang kemudian digunakan di situs untuk pembangkit listrik atau dijual sebagai bahan bakar. Rata-rata nilai perolehan kembali gas adalah dari 120 sampai 150 m<sup>3</sup>/ton MSW kering, sebanding dengan nilai kalor sebesar 2500 MJ/ton (konsentrasi metana di timbunan tanah berkisar 55%). Sejak tahun 1990-an, banyak peneliti dari Amerika Serikat telah mempelajari “timbunan tanah bioreaktor”, dimana kadar air dikontrol dengan cara memaksimalkan biodegradasi. Bioreaktor ini juga dapat meningkatkan laju pembangkit gas dan akibatnya meningkatkan laju pemulihan kembali energi.

Di sisi lain, di Jepang gas timbunan tanah tidak dikumpulkan kembali berdasarkan 2 alasan, yaitu timbunan tanah mengandung kadar organik yang rendah disebabkan praktek

pembakaran yang umum dan kebanyakan timbunan tanah diaerasi melalui penggunaan struktur timbunan tanah yang semi aerob dimana konveksi alami dilakukan untuk membentuk zona aerob disekeliling pipa pengumpulan lesapan di bawah timbunan tanah. Timbunan tanah Chuo-Botahei di Teluk Tokyo menjalankan aktivitas pengumpulan kembali metana, akan tetapi pembangkit listrik tahunan (rata-rata 20 tahun) adalah 3000 MWh, hanya cukup untuk 850 rumah.

### 2.15.2 Biogasifikasi (*fermentasi metana*)

Biogasifikasi, sebuah teknologi untuk mengumpulkan kembali gas metana dari bahan organik di dalam reaktor anaerob, juga disebut sebagai “pencernaan anaerob”. Proses ini telah dikembangkan pada 1980-an untuk memperlakukan air limbah organik. Pada 1997, 90 fasilitas telah beroperasi di seluruh dunia (total mencapai 3.5 juta ton/tahun). Jepang memiliki 12 fasilitas untuk memperlakukan limbah manusia dan makanan dan 3 darinya hanya memperlakukan limbah makanan. Gambar. 2.15.1 menunjukkan proses-proses utama biogasifikasi. Konsentrasi padatan yang rendah (6-10%) dipperlakukan menggunakan sistem basah, sedangkan konsentrasi padatan yang tinggi (25 sampai 40%) dipperlakukan menggunakan sistem kering. Sistem perlakuan juga diklasifikasikan berdasarkan mikroorganisme dominan: methofilic (digunakan pada 30 sampai 40°C) atau termofilik (digunakan pada 50 hingga 60°C).



Gambar 2.15.1. Alur proses biogasifikasi.

### *2.15.3 Pembakaran dengan perolehan kembali energi*

MSW menghasilkan nilai kalor sekitar sepertiga dari kalor batu bara, dan dapat terbakar pada suhu 1000°C. Bila gas pembakaran didinginkan pada suhu antara 200 dan 300°C dengan menggunakan peralatan kontrol gas, energi dapat diperoleh kembali dengan menggunakan sistem kukus. Untuk pembakaran skala kecil biasanya menggunakan kembali kalor limbah untuk pemanasan dan pasokan air panas, sedangkan fasilitas skala besar dapat menggunakan uap bersuhu tinggi untuk pembangkit listrik. Pada 2005, lebih dari 60% pembakaran MSW menggunakan kembali air panas dan 20% menghasilkan listrik.

Akan tetapi, secara rata-rata, insinerator MSW hanya menghasilkan efisiensi pembangkit listrik hanya 10%, yaitu jauh lebih rendah dibandingkan pembangkit listrik dari batu bara. Ia tidak mampu menghasilkan efisiensi yang tinggi disebabkan suhu uap harus dipertahankan rendah untuk menghindari korosi pada suhu 320°C atau lebih tinggi; insentif dari segi ekonomi juga rendah karena harga listrik yang dihasilkan juga rendah dan biaya tinggi yang diperlukan untuk menghasilkan pembangkit listrik.

Insinerator dengan kapasitas 600 ton/hari dapat menyediakan layanan pemanasan pusat untuk 1000 hingga 1500 rumah. Akan tetapi, hal ini biasanya tidak mungkin karena insinerator MSW terletak jauh dari daerah perumahan. Untuk meningkatkan efisiensi energi, sistem manajemen limbah harus dikombinasikan dengan perencanaan kota.

### *2.15.4 Produksi bahan bakar dari sampah dan pembangkit listrik*

Bahan bakar dari sampah (*refuse-derived fuel*, RDF) merupakan bahan bakar yang diperoleh kembali dari limbah. Ia meliputi jenis bahan bakar yang luas termasuk gas dan minyak, meskipun biasanya disebut sebagai limbah yang dicacah dimana bahan tak terbakar telah dikeluarkan. Di Jepang, RDF diproduksi pertama kali dari limbah komersial seperti kertas atau plastik, dan pada akhir 1980-an, produksi RDF mulai menggunakan limbah rumah. Dihasilkan setelah serangkaian proses termasuk pemisahan bahan tak terbakar, pengeringan, pencacahan, dan pemeletan, RDF dapat disimpan dan diangkut dengan mudah, oleh karena itu telah dipilih sebagai metode alternatif pembakaran di kota-kota kecil dan sederhana. Setelah masalah terkait dioksin yang membatasi penggunaan RDF sebagai bahan bakar dandang berskala kecil, pembangkit listrik RDF lokal (dimana RDF diproduksi di kota sekeliling digunakan untuk

pembangkit listrik pusat) menjadi salah satu pilihan paling menjanjikan ketika pembakaran berskala kecil desentralisasi tidak mungkin untuk diaplikasikan.

Jika dibandingkan dengan limbah yang tidak diproses, RDF menyediakan nilai kalor yang lebih tinggi dan komposisi yang lebih seragam dan hasilnya bisa meningkatkan efisiensi pembangkit listrik. Sebanyak lima pembangkit listrik RDF telah beroperasi sejak 2001 di Jepang. Ia telah diperkirakan mampu untuk menghasilkan daya pemrosesan sebesar 160 hingga 310 ton/hari, efisiensi pembangkit listrik 20 hingga 30%, dan output sebanyak 3000 sehingga 20,000 kW.

Akan tetapi, salah satu dari tangki penyimpanan RDF telah meledak di salah satu pembangkit pada tahun 2003, dan survei mendalam yang telah dilakukan menemukan kecelakaan yang serupa pernah terjadi sebelum itu, oleh karena itu, sebagian RDF kini dikirim ke situs pembuangan. Sejak 2003, sebanyak 43 fasilitas produksi RDF telah beroperasi atau sedang dalam pembangunan, akan tetapi teknologi ini telah diragukan di Jepang disebabkan catatan keamanannya yang tidak baik. Amerika Serikat saat ini memiliki 15 insinerator RDF besar yang sedang beroperasi, akan tetapi di negara tersebut, RDF hanya mengandung limbah yang dapat dibakar yang telah disayat disebut sebagai “RDF lembut” (atau RDF kasar).

### *2.15.5 Pirolisis*

Pada akhir tahun 1990-an, masalah terkait dengan dioksin telah mendorong pengusaha insinerator untuk memajukan sistem pirolisis (atau gasifikasi) disamping sistem pelelehan. Limbah padat dipanaskan pada suhu sekitar 500°C di dalam atmosfer dengan kadar oksigen yang jarang atau rendah, dan sisa gas atau paatan yang dihasilkan dari proses itu akan dibakar pada suhu diantara 1200 dan 1500°C untuk mencairkan abu. Proses ini diperkirakan akan menghasilkan keuntungan seperti emisi dioksin yang rendah, efisiensi pembangkit listrik yang tinggi dan terak cair yang dapat didaur ulang, dan sejauh ini 77 fasilitas telah beroperasi pada 2005. Akan tetapi, penelitian terakhir menemukan bukti bahwa fasilitas ini membutuhkan penggunaan bahan bakar tambahan dan listrik yang tinggi dan hanya menghasilkan laju daur ulang terak yang rendah. Untuk meminimalkan kelemahan ini, bagian pertama sistem pelelehan pirolisis digunakan sebagai karbonisasi. Arang yang merupakan produknya dapat digunakan sebagai alternatif batu bara, pengondisi tanah, dan batu bara serbuk untuk tanur. Di sisi lain, di

Uni Eropa, pirolisis digunakan sebagai teknologi alternatif untuk menghasilkan energi dari limbah, tetapi sasarannya adalah gas pirolisis.

### ***Informasi Lebih Lanjut***

- R. Stegmann, "Landfill gas utilization: An overview" in Landfilling of waste: Biogas (ed. T.H. Christensen, R. Cossu, R. Stegmann), E&FN SPON (1996)
- Tadashi Abe, "Beikoku ni-okeru Gomi-hatsuden no Hatten", Waste Management Research 7(4), 305-315(1996) (dalam bahasa Jepang)
- Hideaki Fujiyoshi, "Toshi-gomi no Tanka-nenryo-ka Shisetsu", ENERGI, 57-59 (2001-4) (dalam bahasa Jepang)
- Shigeo Shikura, Hideki Harada, "Toshi-haikibutsu no Kenkisei-shoka", Waste Management Research 10(3), 241-250(1999) (dalam bahasa Jepang)
- Website of Tokyo-to, <http://www2.kankyo.metro.tokyo.jp/tyubou/> (dalam bahasa Jepang)
- Toru Furuichi, Norio Nishi (ed), "Biocycle", Kenkyo-Shinbun (2006) (dalam bahasa Jepang)
- Tsukasa Kagiya, "RDF Hokanji no Hatsunetsu to Kongo-no Taio", Kankyo-Shisetsu 94, 48-55 (2003) (dalam bahasa Jepang)
- "RDF Hatsuden-shisetsu o Kaku to-suru Gomi-shori Koiki-ka ni Kadai", Kankyo-Shisetsu 94, 42-47 (2003) (dalam bahasa Jepang)
- Hideaki Fujiyoshi, "Gasu-ka Yoyu-ro no Unten Kanri to Kaizen Jirei", Kankyo-Gijutsu-Kaishi 129, 86-99 (2007) (dalam bahasa Jepang)

## 2.16 Lindi Hitam

### 2.16.1 Lindi hitam

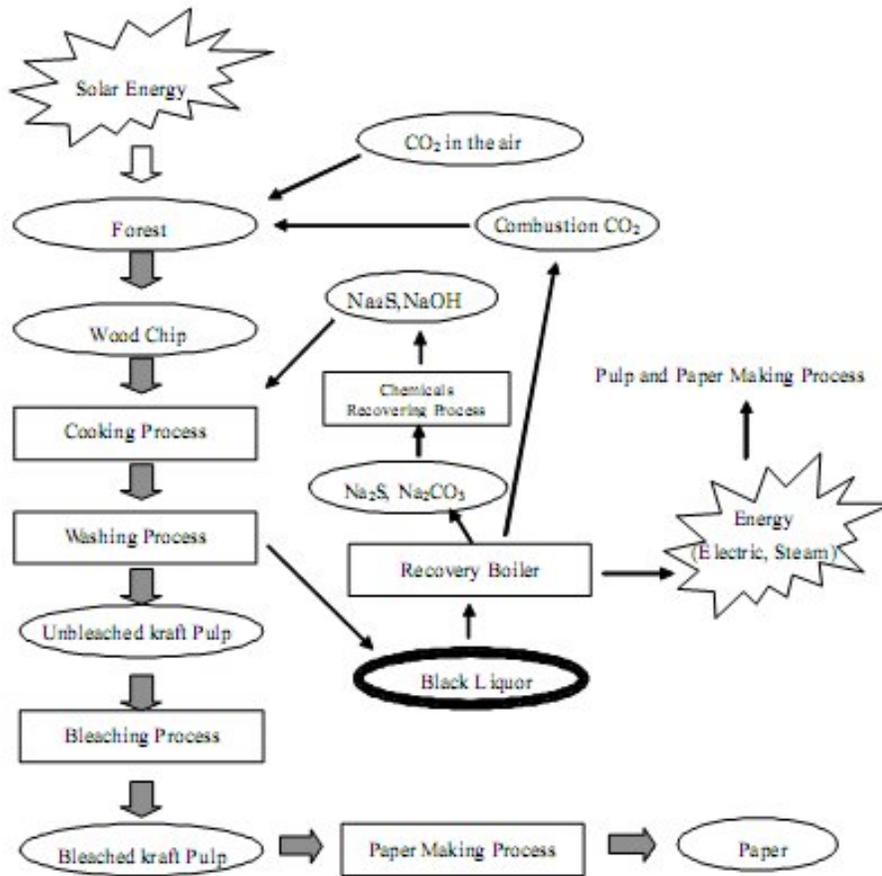
Lindi hitam merupakan campuran limbah organik yang dihasilkan dari kayu sebagai hasil sampingan selama produksi pulp kimia. Biasanya ia dibakar sebagai bahan bakar cair di dalam ketel kukus pemulihan kembali di pabrik pulp. Hampir 1.5 ton lindi hitam diproduksi di pabrik untuk penghasilan 1 ton pulp. Secara umum, nilai kalor kalorimetrik untuk lindi hitam adalah 12.6 MJ/kg dan energinya digunakan untuk proses pembuatan kertas dan pulp.

### 2.16.2 Proses perolehan lindi hitam

Ada beberapa proses berbeda yang dapat digunakan untuk memisahkan serat kayu. Dan pulp yang diproduksi dibagi menjadi 2 jenis. Satu di antaranya adalah pulp mekanis yang dihasilkan melalui proses penghancuran. Satu lagi adalah pulp kimia yang diproduksi melalui proses pemasakan di mana serat selulosa dimasak dari kayu. Lindi hitam diproduksi selama proses pemasakan. Dalam bab ini, informasi lebih lanjut tentang perolehan lindi hitam akan dijelaskan dari segi proses kraft karena proses ini merupakan proses utama untuk menghasilkan pulp saat ini (Gambar. 2.16.1).

Kayu, yaitu bahan baku kertas terdiri atas serat kayu yang mengandung selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang merupakan bagian penting diantara serat. Rasio selulosa, hemiselulosa dan lignin adalah sekitar 55:20:25.

Proses untuk mengekstrak lignin dari serpihan kayu melalui penguraian dan pelarutan yang disebut sebagai proses pemasakan. Dalam proses kraft,  $\text{Na}_2\text{S}$  dan  $\text{NaOH}$  ditambahkan sebagai bahan kimia untuk memasak dan campuran ini kemudian dipanaskan pada suhu 140-170°C dan disimpan selama beberapa jam. Meskipun ia adalah tidak penting apakah serat selulosa atau hemiselulosa akan rusak selama proses tersebut, namun sebagian dari serat selulosa dan kebanyakan hemiselulosa akan terurai dan larut. Secara umum, separuh dari bahan organik di dalam kayu akan berubah ke pulp dan sebagian lagi menjadi lindi hitam.



Gambar 2.16.1. Diagram alir utama untuk pulping.

Lindi hitam mengandung lignin, hemiselulosa, serta Na dan S yang telah terurai dan larut. Setelah proses pemasakan, konsentrasi lindi hitam biasanya adalah 15 hingga 20%. Lindi ini kemudian dipadatkan sampai mencapai 70 hingga 75%. Akhirnya, ia dibakar di dalam ketel kukus disebut ketel kukus pemulihan kembali. Untuk serpihan kayu keras, sebanyak 1 ton dari pulp akan menghasilkan 1,5 ton lindi hitam. Secara umum, nilai kalor kalorimetrik untuk lindi hitam adalah 12.6 MJ/kg.

Selama proses, Na dan S yang telah cair dan terdapat di dalam likuor diekstrak dan kemudian dilarutkan di dalam air panas. Setelah itu, ia akan menghasilkan Na<sub>2</sub>S dan NaOH dalam proses pengkaustikan, dan kemudian ia digunakan kembali dalam proses pemasakan. Disamping itu, serat kayu yang dipisahkan akan diubah menjadi bubur melalui proses pencucian dan pemutihan. Akhirnya, ia dapat digunakan sebagai bahan baku untuk kertas.

### 2.16.3 Karakteristik dan signifikansi lindi hitam

Sebagaimana telah dijelaskan, pembakaran lindi hitam di dalam ketel kukus pemulihan adalah proses untuk mendapatkan energi. Pada waktu yang sama, ia menghasilkan bahan kimia untuk produksi pulp. Penting untuk menggunakan lindi hitam di dalam pabrik produksi pulp kraft. Oleh karena itu, semua pabrik pulp kraft memiliki proses untuk membakar lindi hitam.

Sebanyak 2.0 ton lindi hitam diproduksi sebagai hasil samping dari 1 ton pulp kayu keras atau 1.5 ton pulp kayu lunak. Pada umumnya, hampir semua lindi hitam digunakan sebagai energi biomassa. Produksi pulp kraft di Jepang adalah sebanyak 9,000,000 ton setahun dan 14,000,000 ton likuor hitam dihasilkan selama proses tersebut. Jumlah likuor yang dihasilkan setara dengan 4,710,000 kiloliter minyak mentah dari segi energi.

Pada 1999, produksi pulp kimia di seluruh dunia adalah sebanyak 119,000,000 ton. Oleh karena itu, produksi likuor hitam diperkirakan sebesar 200,000,000 ton. Ini setara dengan 60.000.000 kiloliter minyak mentah (Tabel 2.16.1).

Industri pulp dan kertas di Jepang dan negara ASEAN telah menggunakan kayu yang ditanam sebagai bahan pulp dan produksinya meningkat akhir-akhir ini. Industri ini telah dikembangkan dengan cara memproduksi kedua bahan dan energi dari pengelolaan hutan lestari yang menghasilkan sumber daya untuk pulp. Pemanfaatan lindi hitam sudah pasti sebagai dasar untuk manajemen ini.

Saat ini pemanfaatan lindi hitam dibatasi sebagai sumber energi untuk pabrik kertas dan pulp. Akan tetapi, berbagai jenis bahan dapat diproduksi seperti asam lignosulfonat dengan cara memisahkan lignin dari lindi hitam dan asam nukleat dengan cara pembiakan ragi menggunakan gula di dalam lindi hitam tersebut. Diperkirakan biorefinery yang memanfaatkan lindi hitam akan lebih dikembangkan pada masa depan.

Tabel 2.16.1. Produksi pulp (1000 ton)

|               | 1989    | 1994    | 1999    |
|---------------|---------|---------|---------|
| Dunia         | 113,803 | 111,304 | 119,260 |
| Eropa         | 19,381  | 20,219  | 22,502  |
| Amerika Utara | 58,053  | 62,714  | 61,934  |
| Asia          | 17,490  | 13,755  | 17,252  |
| Amerika Latin | 5,517   | 7,527   | 9,652   |

### ***Infromasi Lebih Lanjut***

- Keiichi Tsuchiya, Makoto Iwasaki, Tadanori Oihata, Yoshihiro Sakaguchi, Keiichi Tushiya, “Pulp and Paper Manufacturing Technology Complete Book, Vol. 2 Kraft Pulp”, 11-20, 185-223 (1996) JAPAN TAPPI (dalam bahasa Jepang)
- JAICAF Edition, “World Forest White Paper 1997”, JAICAF (dalam bahasa Jepang)
- JAPAN TAPPI Energi Committee, “Survey on Energi Consumption in the Pulp and Paper Mills in Japan Part 1”, 55, 573-591 (2001) JAPAN TAPPI (dalam bahasa Jepang)
- JAPAN TAPPI Edition “Pulp and Paper technical handbook”, 105-136 (1971) JAPAN TAPPI (dalam bahasa Jepang)
- Yuuichi Hayase, “Seishi-koujou kara-no Fukuseigenryou”, 50, 1253-1259, Thermal and Nuclear Power Engineering Society (dalam bahasa Jepang)
- Masahiro Kitazume, “Sekai no Kami Parupu”, 8-15, September (2000) Kami-Parupu (dalam bahasa Jepang)
- Keiichi Nakamata, “Kami to Shinrin no Kakawari”, Global Environmental Policy in Japan the 1<sup>st</sup> report, 1-9 (1999) Chuo University Press (dalam bahasa Jepang)

## **2.17 Limbah Sisa Pengolahan Makanan**

### ***2.17.1 Potensi limbah sisa pengolahan makanan***

Di dalam bab ini, Thailand dijadikan contoh untuk menunjukkan pemanfaatan limbah sisa pengolahan makanan. Sebagai negara yang berbasis pertanian, sektor industri makanan berperan penting di dalam ekonomi Thailand dan juga merupakan bagian yang besar dengan nilai ekspor yang tinggi setiap tahun.

Pengolahan makanan dan komoditas yang terkait seringkali melibatkan perlakuan termal, mekanis dan kimia, yang enggan menimbulkan masalah lingkungan akibat pelaksanaan yang tepat terhadap limbah pengolahan makanan tersebut. Secara umum, limbah pengolahan makanan bisa dibedakan menjadi dua jenis, berdasarkan kondisi fisiknya yaitu limbah padat dan cair. Limbah padat terdiri atas tandan kosong kelapa sawit, ampas tebu, jerami/tunggul/ sekam

padi, limbah dari pabrik tepung ubi kayu dan batang jagung. Selain itu, limbah cair kebanyakan berasal dari suatu pemrosesan makanan yang melibatkan pencucian, pembersihan dan ekstraksi menggunakan air atau pelarut yang lain.

Pada umumnya, limbah padat telah dikembalikan ke dalam ketel kukus untuk menghasilkan uap untuk proses pabrik itu sendiri atau untuk pembangkit listrik. Dengan teknologi biomassa seperti gasifikasi, limbah padat ini akan digunakan melalui konversi energi dengan efisiensi yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan pembakaran takterkendali. Disisi lain, karena limbah cair harus dikontrol demi keprihatinan lingkungan, pabrik pengolahan diwajibkan untuk membangun sistem perlakuan air limbah. Seringkali sistem ini menggunakan teknologi pencernaan anaerob, dimana biogas dapat diproduksi dan digunakan sebagai sumber energi untuk pabrik.

Dari hasil penilaian Departemen Energi pada 2000, sembilan industri pertama dengan potensi paling tinggi untuk produksi biogas secara berurutan adalah ubi kayu, gula, kelapa sawit, makanan laut kalengan, produk beku, rumah pemotongan hewan, nanas kalengan, soda berkarbonasi dan lindi. Penelitian terakhir terhadap air buangan dari pabrik ubi kayu, gula, kelapa sawit, nenas kalengan dan etanol untuk menilai potensi biogas telah dilakukan oleh TRF (<http://www.trf.or.th>). Hasilnya disajikan pada Tabel 2.17.1. Tanaman ubi kayu memiliki potensi paling tinggi untuk menghasilkan biogas, yaitu lebih dari 2 kali lipat dari pabrik etanol yang menduduki posisi kedua. Diantara alasan potensi yang rendah untuk produksi biogas di industri tertentu adalah disebabkan oleh manajemen sistem perawatan air limbah yang lebih baik dan juga penggunaan hasil sampingan yang lebih baik.

Tabel 2.17.1 Potensi produksi biogas dari industri yang berbeda.

| Industri       | Data biogas pada 2005           |                          | MW <sub>e</sub> | Energi yang diganti oleh biogas |                   |                                |
|----------------|---------------------------------|--------------------------|-----------------|---------------------------------|-------------------|--------------------------------|
|                | Produksi (Mm <sup>3</sup> /thn) | Setara Energi (ktoe/thn) |                 | Kapasitas pabrik (GWh/thn)      | %Kapasitas pabrik | Setara bahan bakar minyak (ML) |
| Ubi kayu       | 344                             | 167                      | 57              | 413                             | 82.2              | 158                            |
| Etanol         | 149                             | 97                       | 20.5            | 179                             | 100               | 69                             |
| Kelapa sawit   | 84                              | 39                       | 14              | 100                             | 82.2              | 39                             |
| Nanas kalengan | 13                              | 6                        | 3.7             | 16                              | 50                | 6                              |
| Gula           | 4.2                             | 0.7                      | 3.6             | 5                               | 27.4              | 0.3                            |
| Total          | 594.2                           | 309.7                    | 98.8            | 713                             |                   | 272.3                          |

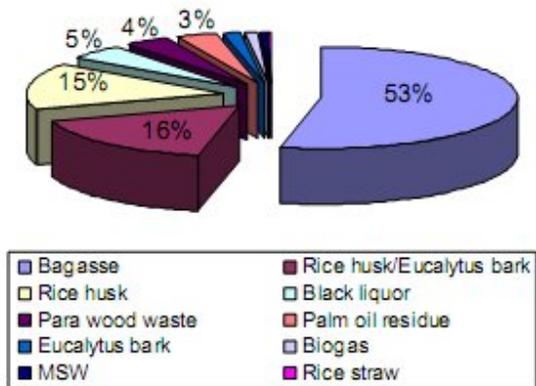
Sumber: Laporan proyek akhir TRF (Thailand Research Fund), 2007

Keterangan: kesetaraan bahan bakar minyak dihitung berdasarkan kadar metana dalam biogas dengan faktor konversi sebagai berikut: 1 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> = 33.8 MJ, 1 m<sup>3</sup> biogas = 0.46 L kesetaraan bahan bakar minyak = 1.2 kWh.

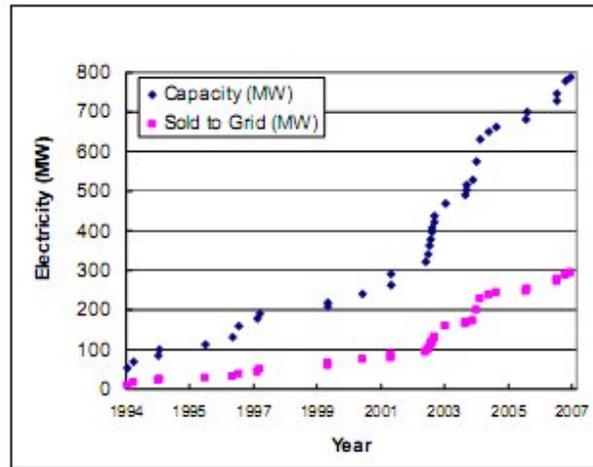
### 2.17.2 Ampas tebu

Ampas tebu merupakan limbah padat berserat yang diproduksi dari batang tebu yang dihancurkan saat mengekstrak perasan gula di pabrik gula. Secara umum, sekitar 25-30% produksi tebu adalah ampas tebu dan berkontribusi sekitar 10.9-22.3 Tg /tahun (Mt/tahun) dari produksi tebu sebanyak 43.5-74.3 Tg/tahun (Mt/tahun) selama jangka waktu antara 1998 dan 2007 di Thailand. Saat ini, hampir semua ampas tebu dari pabrik gula di Thailand telah digunakan sebagai bahan bakar biomassa untuk menghasilkan energi dimana sebagiannya digunakan untuk pengolahan gula di dalam pabrik itu sendiri, dan sisa yang sedikit digunakan untuk aplikasi yang lain. Seperti yang disajikan di bawah, lebih dari separuh pabrik pembangkit biomassa di tahun 2007 menggunakan ampas tebu sebagai bahan bakar.

Sejak 1994, sebanyak 37 Produsen Daya Kecil (Small Power Producers, SPPs) dan Produsen Daya Sangat Kecil (Very Small Power Producers, VSPPs) yang beroperasi menggunakan ampas tebu dengan kapasitas terpasang melebihi 780 MW dengan hampir 300 MW dijual kembali kepada jaringan listrik. Peningkatan mendadak dalam pembangkit listrik ampas tebu adalah karena dukungan dan dorongan yang kuat dari pemerintah untuk pembangkit listrik.



Gambar 2.17.1. Rincian pembangkit listrik biomassa berdasarkan jenis bahan bakar pada 2007.



Gambar 2.17.2. Sejarah pabrik pembangkit listrik di Thailand.

Sumber: Diadaptasi dari Energi untuk Dasar Lingkungan (<http://www.efe.or.th>)

Selain itu, ampas tebu hanya dapat digunakan untuk menghasilkan produk nilai tambahan yang lain seperti kemasan makanan biodegradabel (seperti disajikan di bawah) dan papan partikel. Sisa ampas tebu dan abu dari pembangkit listrik bisa dikompresi untuk membentuk batu-bata bangunan dengan berat 3.2 kg/bata, bisa menahan beban 80-90 kg/cm<sup>2</sup> dan harganya hanya 4 Baht/bata (jika dibandingkan dengan batu-bata bangunan biasa dengan kekuatan 5.8 kg, 70 kg/cm<sup>2</sup> dan harganya 8 Baht/bata).

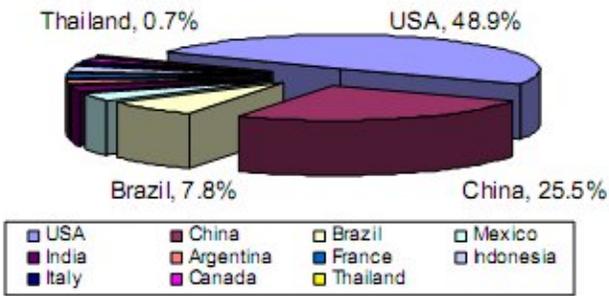


Gambar 2.17.3. Kemasan makanan biodegradabel dari serat ampas tebu.

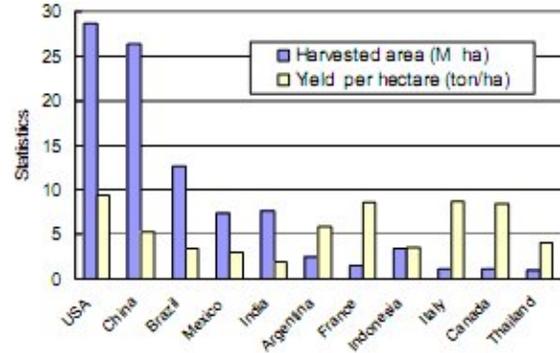
### 2.17.3 Tongkol jagung

Meskipun jagung bukan merupakan tanaman ekonomi yang paling utama di Thailand, akan tetapi ada peningkatan dalam pemanfaatan batang jagung untuk pembangkit listrik dan bahan bakar padat supaya tercapai tujuan “zero-waste” di dalam industri pengolahan jagung. Gambar di bawah ini menunjukkan produksi jagung dunia pada tahun 2006 dimana Amerika

Serikat meliputi hampir separuh dari jumlah produksi jagung sedunia dan juga dengan hasil tertinggi di dunia. Meskipun Cina memiliki sejumlah tanah yang hampir sama untuk penanaman jagung seperti Amerika Serikat, akan tetapi hasilnya yang lebih rendah menyebabkan jumlah produksinya hanya separuh dari Amerika Serikat.

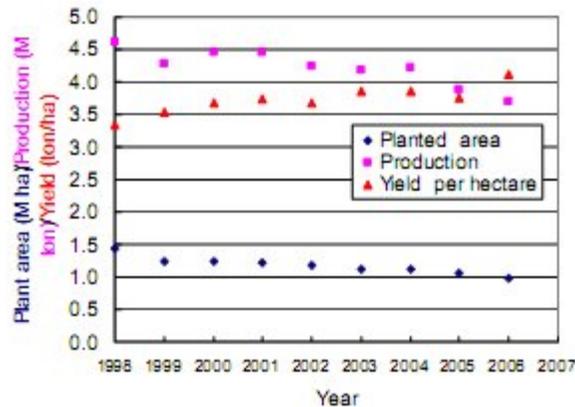


Gambar 2.17.4. Negara terkemuka di dunia dalam produksi jagung pada 2006.



Gambar 2.17.5. Luas panen serta hasil jagung pada 2006.

Selama 10 tahun terakhir di Thailand, hasilnya telah meningkat secara berangsur tetapi tidak cukup cepat untuk mengimbangi lahan yang semakin berkurang, dan sebagai akibatnya penurunan produksi jagung seperti disajikan pada Gambar 2.17.6. Pada 2006, hasilnya adalah 411 g/m<sup>2</sup> (4.11 ton/ha) dengan rata-rata keseluruhan 9000 km<sup>2</sup> (0.9 juta hektar) luas lahan yang dipanen. Hampir semua produksi jagung di Thailand digunakan untuk industri makanan dan pakan ternak; dimana keduanya akan menghasilkan batang jagung sebagai limbah padat pabrik. Pada 2006, sebanyak 33 Gg (0.33 Mt) batang jagung telah diproduksi dimana 200 Gg (0.2 Mt) datang dari bagian utara Thailand terutama Phetchabun (76 Gg (0.076 Mt)), Tak (35 Gg (0.035 Mt)) dan Nakorn sawan (33 Gg (0.033 Mt)). Batang jagung ini biasanya dikeringkan terlebih dahulu sebelum dimasukkan ke dalam ketel kukus untuk menghasilkan uap untuk pembangkit listrik, seperti 10 MW unit pembangkit listrik di pabrik etanol Pornvilai International Group Co.

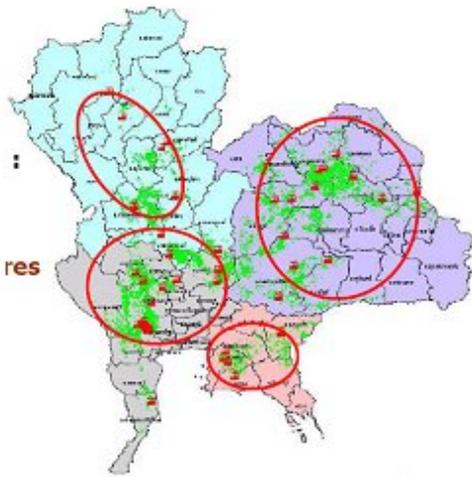


Gambar 2.17.6. Sejarah statistik jagung di Thailand.

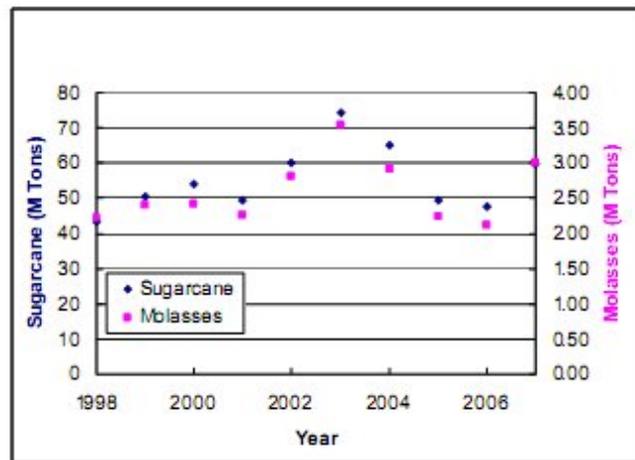
Produk nilai tambah lainnya untuk batang jagung adalah arang jagung, dimana batang jagung dipanaskan terlebih dahulu pada suhu 900-1000°C sebelum dilakukan pemeletan dengan pengikat yang tepat. Setelah itu, dilakukan pengeringan terakhir pada 120°C selama 12 jam untuk mendapatkan arang dengan kelembaban kurang dari 5%.

### 2.17.4 Molases

Molases merupakan hasil samping pengolahan gula dari tebu. Sirup hitam pekat ini tersisa setelah gula telah distrak dari perasan gula. Di Thailand, industri gula dikontrol secara ketat oleh OCSB (Kantor Lembaga Tebu dan Gula) melalui akta tebu dan gula tahun 1984. OCSB memiliki peran penting dalam menjamin distribusi yang adil dari pendapatan antara pabrik gula dan petani tebu.



Gambar 2.17.7. Tanaman tebu (hijau) dan pabrik gula (merah) di Thailand.



Gambar 2.17.8. Produksi tebu dan molasses di Thailand.

Seperti ditunjukkan pada gambar di atas, sekitar 10.000 km<sup>2</sup> (1 juta hektar) luas area penanaman tebu (hijau) berkelompok di 4 daerah (meliputi 49 provinsi) dan menunjukkan semua 45 pabrik gula (merah). Produksi molases sangat bergantung pada produksi tebu. Secara umum, 1 Mg (1 ton) tebu akan menghasilkan molases sebanyak 45-50 kg, dan 1 Mg (1 ton) molases dapat diproses untuk menghasilkan 260 dm<sup>3</sup> (L) etanol. Untuk 60 Tg (Mt) produksi tebu pada 2007, sebanyak 3 Tg (Mt) molases diproduksi. Dari 3 Tg (Mt) ini, 1 Tg (Mt) akan digunakan untuk industri minuman keras, ragi, saus masakan, MSG (mono sodium glutamat), cuka dan

pakan ternak sedangkan 2 Tg (Mt) lagi dapat digunakan untuk memproduksi etanol sejumlah 520 dam<sup>3</sup>/tahun (juta L/tahun) atau 1.4 dam<sup>3</sup>/hari (juta L/hari).

Awalnya, kementerian energi membutuhkan lisensi untuk pabrik bahan bakar etanol tetapi kemudian ia tidak lagi diperlukan. Saat ini, ada sejumlah 7 pabrik bahan bakar etanol (6 dari molases/gula dan 1 dari ubi kayu) telah beroperasi dengan kapasitas 1 dam<sup>3</sup>/hari (juta L/hari). Sekitar 12 pabrik lagi kini dalam pembangunan dengan separuhnya menggunakan ubi kayu sebagai bahan baku. Jumlah kapasitas tambahan ini adalah 1.97 dam<sup>3</sup>/hari (juta L/hari). Gerakan untuk pembangunan kapasitas etanol ini merupakan hasil dari inisiatif pemerintah untuk menggunakan bensin yang dicampur 10% etanol atau disebut sebagai “gasohol E10” untuk kadar oktana 91 dan 95. Baru-baru ini, gasohol E20 (kadar oktana 95) atau bensin yang dicampur 20% etanol tersedia secara komersial di stasiun-stasiun gas tertentu mulai Januari 1, 2008.

Untuk pasar ekspor molases, Thailand telah menjadi salah satu eksportir terbesar (dengan nilai \$ 41.6 juta pada 2004), dimana kedua dan ketiga terbesar adalah Amerika Serikat dan Guatemala. Sekitar 37% diekspor ke negara-negara ASEAN dan 53% diekspor ke negara-negara lain di Asia. Negara-negara terdekat lain yang mengekspor molasses adalah Filipina, Indonesia dan Australia.

# Bab 3. Konversi Fisis Biomassa

## 3.1 Kayu bakar

### 3.1.1 Ruang lingkup

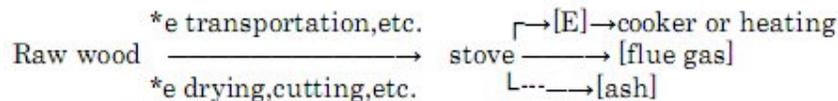
Kayu bakar merupakan sumber energi klasik dan masih merupakan sumber energi domestik yang penting di banyak negara berkembang. Pada akhir pertengahan abad ke-20, kayu bakar telah banyak digantikan penggunaannya oleh petroleum, meskipun produksi kayu bakar masih meliputi lebih dari separuh jumlah kayu yang ditebang dan meliputi 14% konsumsi energi dunia, dan 36% dari konsumsi energi di negara-negara berkembang.

Akan tetapi, di beberapa daerah, jumlah kayu semakin menurun dengan meningkatnya populasi, dan mereka terpaksa berjalan jauh untuk mendapatkan kayu bakar. Mereka memiliki masalah meskipun hanya untuk mendapatkan kayu bakar untuk tujuan memasak. Di kebanyakan negara-negara Asia, hampir semua kayu hutan sulit untuk digunakan karena masalah yang dihadapi untuk mengirim kayu dari hutan dengan kemiringan yang tinggi.

Pada bagian kiri diagram 1, yang merupakan bagian pasokan kayu api dari kayu mentah ke dalam tungku, faktor yang penting saat ini bukanlah jumlah sumber daya, tetapi energi dan biaya untuk mengangkut kayu dari hutan. Jika pasokan energi luar untuk transportasi, \*e dan energi tersedia dari hasil kayu bakar, E memiliki hubungan

$$\sum * > E,$$

maka sistem ini gagal sebagai sistem penghasil energi bersih. Aspek ini juga sangat penting untuk kasus dimana penyerpihan dan pemeletan dibuat supaya mudah untuk menangani bahan bakar ini di dalam tanur.



Gambar 3.1.1. Aliran bahan dan energi disekitar kompor dalam sistem kayu bakar.

\*e = pasokan energi dari luar, E = energi yang berguna

Untuk bagian kanan Gambar. 3. 1.1, yang merupakan pengguna kayu bakar, hal yang penting adalah efisiensi energi yang rendah dari alat pemanas lama yang hampir serupa dengan kompor dapur tradisional yang sering digunakan.

Selain itu, kebersihan udara dalam harus dipertimbangkan ketika kompor kecil digunakan karena pembakaran tidak sempurna yang mungkin terjadi. Masalah jelaga, karbon monoksida (CO), tar, bahan organik mudah menguap bukan metana (NMVOC), dan hidrokarbon poliaromatik (PAH, karsinogen) juga akan terjadi.

Kadar abu kayu bakar lebih rendah dari arang sebanyak 1 orde, tetapi penyingkiran abu penting dari segi keseimbangan massa, meskipun biasanya ia tidak akan menyebabkan permasalahan yang serius. Abu di dalam kayu memiliki kandungan kalium yang tinggi, yang merupakan pupuk yang penting, dan pengembalian kembali abu ke hutan adalah penting untuk keberlanjutan sistem.

Tumbuhan herbal memiliki kandungan abu lebih tinggi dari kayu sebanyak 5-20 kali lipat, dan perlakuan abu merupakan masalah besar untuk produksi kayu bakar tiruan dari jerami, sekam, dan ampas tebu.

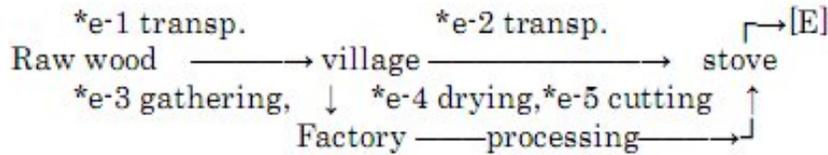
Nilai kalor tumbuhan adalah sekitar 20GJ/t kering untuk berbagai jenis biomassa kayu (separuh dari nilai kalor minyak), dan hampir semua ditentukan oleh kadar airnya. Biomassa kayu adalah tidak sesuai untuk transportasi jarak jauh karena kelimbakannya. Oleh karena itu, pemanfaatan kayu bakar harus dekat dengan hutan.

### *3.1.2 Pasokan kayu bakar*

Potensi pasokan kayu bakar dibahas disini. Menurut FAO (Organisasi Makanan dan Pertanian), luas area hutan dunia adalah sebanyak 39,500 km<sup>2</sup> dan menurun secara berangsur (-0.2% /tahun). Meskipun laju pertumbuhan utama untuk hutan diestimasikan lebih dari 5.1 km<sup>3</sup>/tahun (5.1 miliar m<sup>3</sup>/tahun), produksi kayu gergaji tahunan adalah sebesar 1.6 km<sup>3</sup>/tahun (1.6 miliar m<sup>3</sup>/tahun) untuk penggunaan industri dan 1.8 km<sup>3</sup>/tahun (1.8 miliar m<sup>3</sup>/tahun) untuk penggunaan bahan bakar. Meskipun luas area hutan tidak berubah, hutan buatan dengan laju pertumbuhan yang tinggi meningkat secara berangsur, dan pasokan meningkat untuk memenuhi perkembangan ekonomi yang sederhana.

Pada proses produksi kayu gergaji, disertai juga dengan produksi residu hutan dan penipisan kayu. Jika pengembangan yang teratur dicapai untuk transportasi biomassa ini, potensi pasokan pastinya akan meningkat. Akan tetapi, transportasi dari gunung dengan

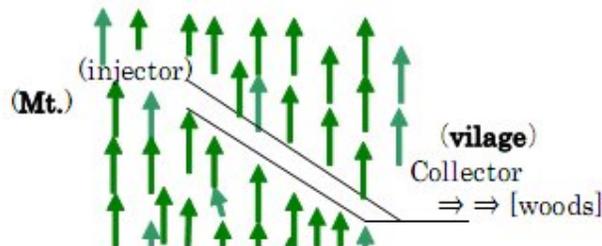
kemiringan yang curam yang seringkali ditemukan di Jepang dan negara ASEAN lainnya menyebabkan nilai \*e-1 seperti dalam Gambar 3.1.2 menjadi besar, sehingga biomassa kayu tidak dapat digunakan secara efektif. Nilai \*e-1 diperkirakan akan meningkat secara proporsional dengan jarak, dan meningkat dengan kemiringan eksponensial 2 hingga 3, tetapi belum dikaji lebih mendalam. Densitas curah sangat mempengaruhi transportabilitas. Faktor pengemasan adalah 1/4-1/3 untuk ranting, maksimal 1/2 untuk serpihan dan 0.6 untuk pelet.



Gambar 3.1.2. Aliran bahan dan energi sebelum kompor dalam sistem kayu bakar

\*e1, \*e2, \*e3... = pasokan energi dari luar.

Sebuah percobaan telah dilakukan oleh NPO Jepang untuk mengangkat biomassa kayu dari hutan dengan kemiringan yang tinggi ke kaki hutan menggunakan peluncur seperti disajikan dalam Gambar. 3.1.3. Hasil yang berhasil ditemukan untuk kayu tipis dengan kemiringan sekitar 20°. Sistem ini tidak membutuhkan kekuatan mekanis, dan dapat diaplikasikan untuk daerah yang curam.



Gambar 3.1.3. Sistem yang dijalankan untuk kayu bakar-gunung.

Untuk mengubah kayu mentah menjadi kayu bakar ia harus dipotong dengan panjang kurang dari 50 cm, dikarenakan dimensi tungku yang digunakan. Supaya proses pembakaran berlangsung mudah, bentuk kayu harus diubah dengan rasio aspek 10-20 dengan cara memotongnya menjadi kepingan sehingga luas permukaannya pun meningkat. Persyaratan ini cukup rumit, dan kini, kayu api tiruan diproduksi dengan cara mengubah kayu menjadi pelet dimana kayu dihancurkan menjadi bentuk silinder dengan inti yang kosong (Contoh: Ogairaito, Lihat Bab. 3.2 Pemeletan). Urutan mengenai

beberapa bentuk bahan bakar biomass kayu dengan luas permukaan spesifik yang tinggi serta kemudahan dalam pengendalian adalah sebagai berikut, tetapi perlakuan yang lebih tinggi membutuhkan konsumsi energi proses yang lebih tinggi (\*e, \*e-5) dan akibatnya biaya pun lebih tinggi.

Kayu mentah > kayu bakar > serpihan, briket > pelet.

Kadar air di dalam kayu bakar adalah 50% untuk bahan baku dan 15-30% untuk kayu bakar yang dikeringudarkan. Keduanya mudah terbakar, tetapi kalor laten air (2.26 MJ/kg air) akan hilang. Pada umumnya, jika kadar air melebihi 2/3, api akan padam karena panas yang tersisa tidak cukup untuk mencapai suhu nyala. Pengeringan kayu bakar menggunakan energi proses, akan tetapi sebagian darinya dapat diperoleh kembali dengan peningkatan panas pembakaran.

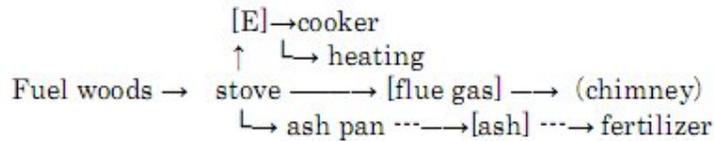
### *3.1.3 Pemanfaatan kayu bakar*

Kayu bakar dapat digunakan dengan peralatan yang sederhana, tetapi cara pembakaran akan berubah seperti disajikan di bawah ini. Pembakaran arang sekitar 10-20% dari keseluruhan pembakaran.

Pengeringan → Penyulingan-kering → Pembakaran api → Pembakaran arang  
(~ 150°C, endotermik) (250~400°C, endotermik) (pembakaran utama) (pembakaran padat)

Jika pasokan udara berkurang, tar yang berbahaya dihasilkan dari tahap penyulingan-kering. Pada tahap pembakaran api, CO dan jelaga (partikel karbon) dihasilkan, dan sebagian tar akan diubah menjadi PAH karsinogenik melalui pirolisis. Untuk mencegah bahan pencemar ini dari pemasukan cerobong gas sebagaimana disajikan pada Gambar 3.1.4, suhu tinggi dan kadar oksigen harus dipertahankan dengan cara menggunakan sejumlah kadar udara yang sedikit berlebih dari hasil perhitungan stoikiometri.

Untuk pembakaran kayu bakar yang aman, rasio udara yang biasa digunakan adalah 1.25-1.4. Jika rasio udara terlalu tinggi, api akan menjadi lemah, dan suhunya akan menjadi rendah, maka pasokan udara berlebih sebagai udara kedua sangat direkomendasikan. Sejenis alat yang berfungsi untuk menempatkan katalis pembakaran diatas api tersedia secara komersial dengan tujuan untuk mencapai pembakaran sempurna meskipun pada rasio udara mendekati 1.0, akan tetapi aliran gas akan berkurang dan konversi tahunan untuk katalis diperlukan.



Gambar 3.1.4 Aliran bahan dan energi setelah kompor dalam sistem kayu pembakaran  
\*e1, \*e2, \*e3... = pasokan energi dari luar.

Bagian atas Gambar 4 menunjukkan penggunaan panas. Untuk pendingin udara, kehilangan panas cukup kecil, akan tetapi untuk pemasakan, penggunaan panas secara efektif tidak mudah karena transfer panas ke panci diperlukan. Pengembangan alat yang berfungsi sebagai kompor untuk memasak dan juga pemanas kamar membutuhkan penelitian yang lebih lanjut.

Secara umum, bagian atas kompor, dimana suhu tertinggi dapat dicapai, digunakan untuk memasak. Untuk pasokan air panas yang tidak membutuhkan pendidihan, bagian dengan suhu lebih rendah dapat digunakan.

### ***Informasi Lebih Lanjut***

Forestry and Forest Products Research Institute, Japan, Ed. (2006): “Shinrin ringyono shorai yosoku”, p.31, p.411 (dalam bahasa Jepang)

H. Sano, H., J. Soc. Mec. Eng. (2005), 108(1045), pp. 926-927. (dalam bahasa Jepang)

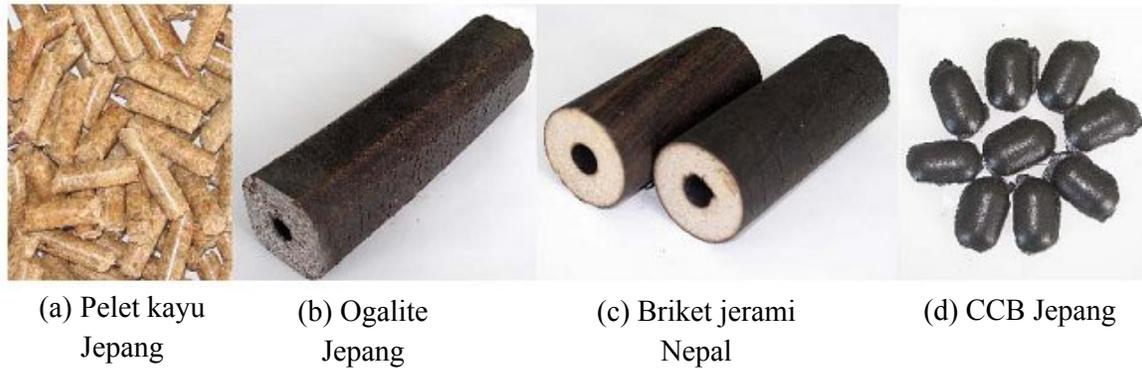
Ogi, T. in “Biomass Handbook”, Japan Institute of Energi Ed., Ohm-sha, 2002, p.5 and p.16 (dalam bahasa Jepang)

## **3.2 Pemeletan**

### ***3.2.1 Apa itu pelet dan pemeletan?***

Pemeletan adalah proses untuk menekan bahan menjadi bentuk pelet. Ada berbagai jenis bahan baku seperti bahan bakar padat, obat-obatan, bahan pengisi, bijih dan sebagainya telah dipeletkan. Untuk bahan bakar padat, ia disebut sebagai pelet kayu, ogalite (briket kayu), briket batu bara atau bahan bakar komposit. Pelet kayu yang disajikan dalam Gambar. 3.2.1 (a) adalah terbuat dari limbah kayu seperti serbuk gergaji dan debu penghancuran. Diameter pelet

adalah 6-12 mm dan panjangnya 10-25 mm. Gambar (b) dan (c) menunjukkan pelet ukuran besar (briket kayu dan briket jerami padi). Diameter briket adalah 50-80 mm dan panjangnya 300 mm. Gambar (d) menunjukkan CCB yang merupakan sejenis bahan bakar komposit campuran biomassa dan batu bara. Ia disebut sebagai Biobriket.



Gambar 3.2.1. Berbagai jenis briket.

#### (a) Pelet kayu

Disamping briket jerami padi, pelet kayu dan briket kayu dapat diproduksi dari proses pembuatan sebagai berikut:

##### (1) Proses pengeringan

Secara umum, kadar air awal kayu adalah 50%. Perlu untuk mengeringkan bahan baku ini hingga kadar air mencapai 10-20% untuk mendapatkan kondisi optimum untuk proses penggilingan dan pemeletan. Bahan baku dengan ukuran partikel yang besar seharusnya dikeringkan dengan tanur putar, dan bahan baku dengan ukuran partikel yang kecil harus dikeringkan dengan menggunakan pengering kilat.

##### (2) Proses penggilingan

Bahan baku seharusnya digiling berdasarkan ukuran pelet. Untuk keseluruhan kayu atau limbah ukuran besar, bahan baku harus dihancurkan terlebih dahulu sebelum proses pengeringan supaya kadar airnya seragam. Akan tetapi, proses ini tidak diperlukan untuk hal dimana bahan bakunya adalah jerami padi.

##### (3) Proses pemeletan

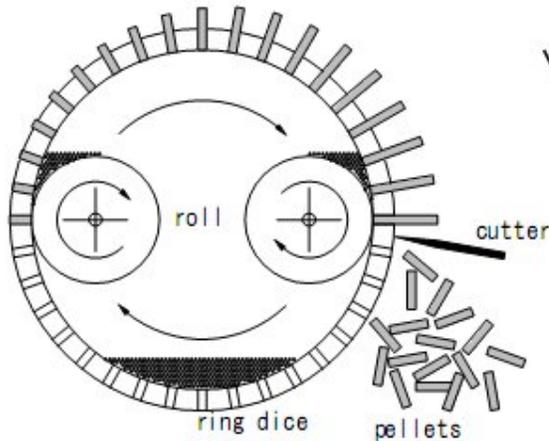
Penggintil terdiri atas pegumpan, penggulung, dan lumping sebagamina disajikan pada Gambar 3.2.2-3.2.3. Gambar. 3.2.2 menunjukkan diagram skematik penggintil untuk pelet kayu. Penggintil jenis ini paling populer di seluruh dunia. Gambar 3.2.3 menunjukkan diagram skematik mesin briket untuk briket kayu dan briket jerami padi.

(4) Proses pendinginan

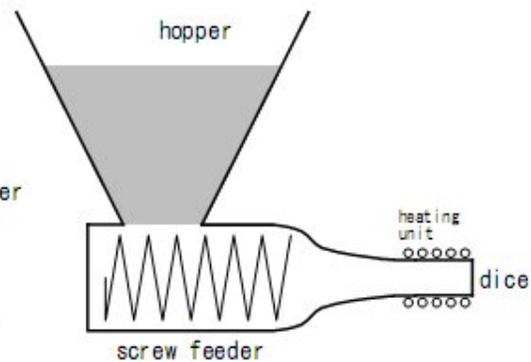
Karena pelet yang telah dibuat memiliki suhu yang tinggi dan mengandung kadar air yang tinggi pula, maka diperlukan proses pendinginan.

(5) Proses penapisan

Pelet yang berkualitas rendah akan dikeluarkan di dalam proses ini. Ia akan digunakan sebagai energi untuk pengeringan.



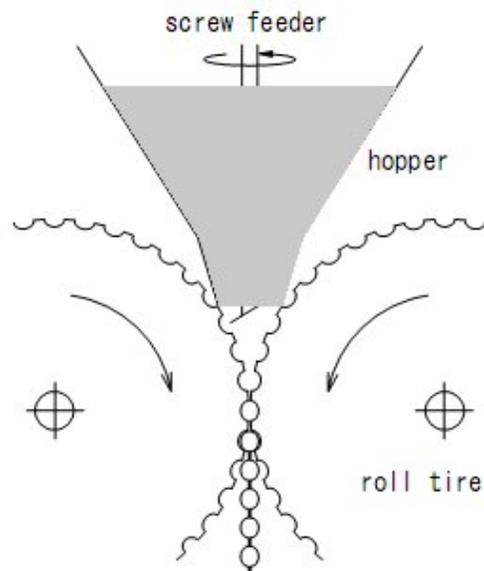
Gambar 3.2.2. Mesin pelet untuk pelet kayu.



Gambar 3.2.3. Mesin briket untuk briket kayu dan jerami padi.

**(b) CCB (Bahan bakar komposit batu bara dan biomassa; Biobriket)**

Pada waktu krisis minyak yang kedua, CBB telah dikembangkan sebagai bahan bakar pengganti minyak tanah di Jepang. CCB adalah sejenis bahan bakar komposit yang terdiri atas batu bara (<2 mm) dan biomassa (<2 mm) yang diproduksi melalui mesin briket bertekanan tinggi seperti disajikan dalam Gambar. 3.2.4. Rasio campuran bahan baku dasar adalah batu bara 70-90%, biomassa 10-30% berdasarkan bobot. Jika batu bara memiliki kadar belerang, kapur mati atau batu kapur dengan rasio setara 1-2 ditambahkan ke dalam campuran sebagai penghilang sulfur. Batu bara dapat digunakan dari berbagai jenis seperti lignit, batu bara tidak



Gambar 3.2.4. Mesin briket untuk CCB.

berasap, dan limbah kayu dan pertanian dapat digunakan sebagai biomassa. Karena biomassa dicampur dengan batu bara, dan efisiensi pembakaran bahan bakar adalah tinggi, kemampuan untuk menyala dan mudah terbakar juga baik, maka emisi asap yang dihasilkan sedikit dan efek penghematan energi lebih tinggi. Secara khusus, pengurangan karbondioksida adalah mudah, sehingga CCB mengandung 10-30% dari biomassa. Gas H<sub>2</sub>S dapat dikurangi sebanyak 50-80% dengan menambahkan desulfurizer ke dalam bahan bakar. Teknologi CCB merupakan salah satu teknologi batu bara yang bersih dan telah ditransfer ke banyak negara sebagai teknologi produksi bahan bakar alternatif pada kayu bakar, minyak tanah dan arang. Negara Cina terutama membutuhkan dukungan teknis dari segi penghematan energi, pengurangan karbondioksida dan pencegahan hujan asam.

### *3.2.2 Karakteristik pelet dan CCB*

#### **(a) Pelet kayu**

Karakteristik pelet kayu jika dibandingkan dengan pucuk kayu dan kayu bakar adalah sebagai berikut; penanganan, penyalaan dan pembakaran adalah mudah, bentuk dan sifat bahan bakar adalah seragam, emisi gas beracun saat pembakaran adalah sedikit, efisiensi transportasi tinggi, dan kerapatan energi juga tinggi.

#### **(b) CCB**

CCB mengandung 10-30% biomassa. Secara umum, biomassa memiliki kelemahan dari segi kuantitas panasnya yang rendah. Akan tetapi, ia memiliki sifat-sifat lain yang baik seperti kemudahnyalaan dan kemudahbakaran, emisi asap yang kurang serta kadar abu yang rendah. Sifat-sifat ini tidak ada pada batu bara dan menyebabkan pemanfaatan batu bara berkualitas rendah. Sifat-sifat yang ada pada campuran ini memungkinkan penggunaan batu bara bermutu rendah.

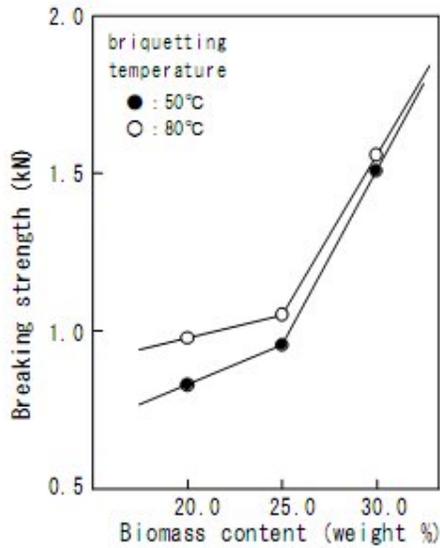
### *3.2.3 Uji dasar untuk briket*

#### **(a) Pelet kayu**

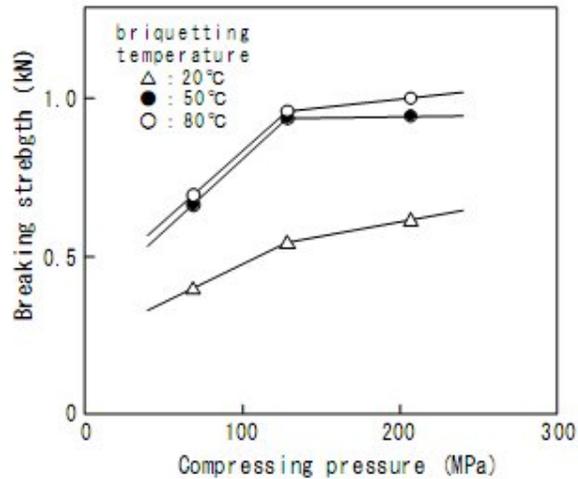
Diperkirakan faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kondisi pemeletan termasuk tekanan, suhu, waktu tekanan, ukuran partikel bahan baku, kadar air dan komposisi kimia kayu. Belum ada penjelesan hingga kini mengenai kondisi yang membatasi proses pemeletan. Hal ini dikarenakan pelet yang dihasilkan mungkin berbeda berdasarkan pengalaman operator. Disamping itu, pelet juga berbeda untuk bahan kayu yang berbeda, akan tetapi berdasarkan nilai rata-rata, ia membutuhkan tekanan dan suhu pemeletan setinggi 70 MPa dan 100-150°C. Akan tetapi, tidak ada keraguan bahwa lignin, glusida dan pektin berperan sebagai agen pengikat.

#### **(b) CCB**

Kami menggunakan mesin briket jenis tekanan berputar untuk produksi CCB. Uji tablet dilakukan untuk mendapatkan rasio campuran yang optimum dari bahan baku dan bahan yang diperlukan sebagai langkah awal di dalam pembuatan briket. Bahan campuran ini kemudian ditekan menjadi bentuk tablet berdiameter 25 mm. Bola baja berdiameter 20 mm diletakkan diatas tablet dan kemudian dijatuhkan ke atas tablet itu sehingga ia pecah. Kekuatan retak tersebut diukur sebagai kriteria kualitasnya. Gambar. 3.2.5. menunjukkan kekuatan retak untuk tablet yang disiapkan dari batu bara dan biomassa. Kekuatan retak semakin meningkat ketika kadar biomassa ditinggikan. Pemanasan bahan baku saat pembuatan briket merupakan cara yang efektif untuk meningkatkan kekuatan retak. Gambar. 3.2.6 menunjukkan suhu yang lebih tinggi saat pembentukan briket akan meningkatkan kekuatan retak tablet. Hal ini dikarenakan adanya peningkatan pada perubahan bentuk plastik biomassa oleh panas. Rasio campuran batu bara dan biomassa yang mencapai kekuatan retak briket 1 kN adalah 20% dari kadar biomassa dengan suhu pembentukan 50°C. Berdasarkan hasil ini, rasio pencampuran standar antara batu bara dan biomassa dapat ditentukan. Jika CCB diproduksi dengan menggunakan mesin putar tekan bertekanan tinggi, tegangan geser akan terjadi diantara ban pemutar dan bahan baku, dan bahan baku tersebut akan dipanaskan pada suhu sekitar 70-80°C. Oleh karena itu, kontrol pemanasan untuk bahan baku tidak dilakukan untuk proses pembuatan briket.



Gambar 3.2.5. Efek kadar biomassa.



Gambar 3.2.6. Efek tekanan kompresi.

### 3.2.4 Efisiensi energi

Di Cina, efek penggunaan CCB untuk ekonomi dan lingkungan diperkirakan sebagai berikut: Penggunaan batu bara telah menurun sebanyak 20% disebabkan CCB mengandung 20% biomassa. Dengan adanya perbaikan dari segi kemudahnyalaan bahan bakar, maka efisiensi panas sekitar 25% menjadi lebih tinggi dari ketel kukus batu bara yang biasa. Jika CCB digunakan sebanyak 1.000.000 ton/tahun di Cina, diperkirakan ada pengurangan sebanyak 400.000 ton/tahun untuk penggunaan batu bara, 5.000 ton/tahun untuk emisi asap dan 15.000 ton/tahun untuk pengurangan sulfur dioksida.

#### ***Informasi Lebih Lanjut***

Johanson, J.R.; The Use of Laboratory Tests in The Design and Operation of Briquetting Proses, Proceedings, IBA, 13, 135(1975)

Maruyama, Coal-wood formed fuel Binder effect of woody materials, Hokkaido Industrial Research Institute, No. 279, 183(1980)

Maruyama, Briquetting characteristics of coal-wood composite fuel, Report of Hokkaido Industrial Research Institute, No. 282, 195(1984)

Groving, D.A.I.; Thermal Softening of Lignin, Hemicellulose and Cellulose, Pulp Paper Mag., T-517~527(1963)

The Japan Institute of Energi, Biomass Handbook, p224-228(2002)

## 3.3 Produksi Papan Partikel

### 3.3.1 Papan partikel

Papan campuran memiliki berbagai nama dan definisi. Papan partikel merupakan istilah umum untuk papan yang terbuat dari bahan lignoselulosa (biasanya kayu), terutama dalam bentuk kepingan diskrit atau partikel, yang dibedakan dari serat, dikombinasikan dengan resin sintetik atau pengikat lainnya yang sesuai. Partikel ini dilekatkan bersama dengan menggunakan panas dan tekanan di dalam mesin cetak panas melalui satu proses dimana ikatan antara partikel terjalin melalui penambahan perekat; sedangkan bahan lain mungkin ditambahkan selama pembuatan untuk memperbaiki sifat-sifat tertentu (ASTM D 1554). Klasifikasi papan partikel berbeda-beda untuk masing-masing negara. Sebagai contoh, Standar Industri Jepang (JIS) A 5908 membagi papan partikel menjadi 5 kategori berdasarkan: 1) kondisi permukaan, 2) kekuatan pembengkokan, 3) perekat, 4) jumlah formaldehida yang dibebaskan dan 5) resistensi nyala. Papan serat merupakan istilah umum yang digunakan untuk papan yang diproduksi dari serat lignoselulosa. Pembahasan pada bab ini tidak meliputi papan serat.

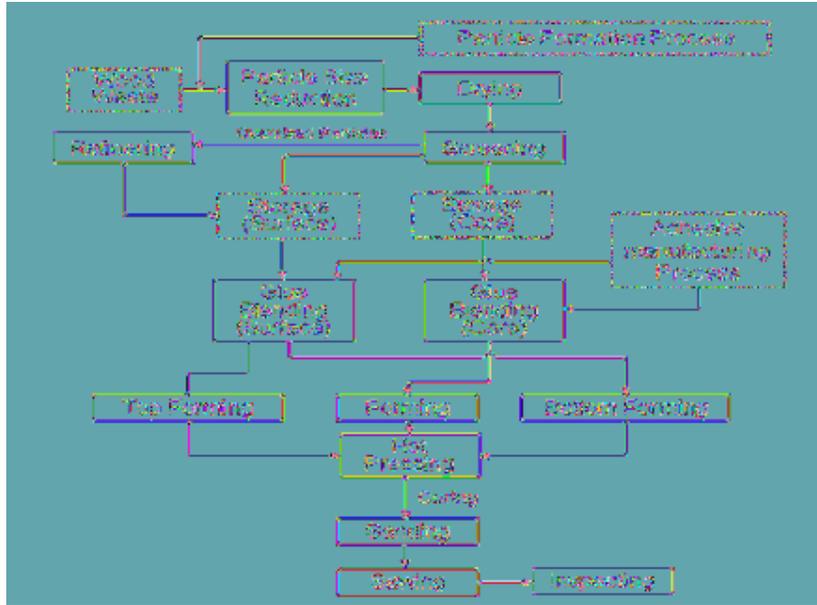
Produk yang terbuat dari bahan remukan kayu dalam bentuk serat, tatal, dan partikel dapat diproduksi dari limbah hasil kayu, kayu bernilai rendah atau non komersial serta limbah pertanian. Kulit kayu, tebangan hutan, dan limbah industri dapat juga dianggap sebagai produk tambahan. Penghasilan papan campuran adalah dari konversi sumber daya alam yang sebelumnya tidak pernah digunakan sebagai bahan yang bermanfaat. Maka, produksi papan partikel dianggap sebagai teknologi untuk mendaur ulang sumber biomassa kayu selulosa untuk hutan lestari.

### *3.3.2 Produksi dan Konsumsi Papan Partikel*

Ada 16 pabrik yang memproduksi papan partikel di Jepang (April, 2006). Pada Oktober 2006, jumlah produksi domestik adalah 1,234,000 m<sup>3</sup> dan produksi papan partikel yang diimpor adalah 391,000 m<sup>3</sup>. Dari jumlah ini (1,625,000 m<sup>3</sup>), 60% digunakan untuk perabotan dan 37% digunakan untuk konstruksi. Supaya memenuhi tujuan Hukum Jepang untuk daur ulang 60% dari kayu konstruksi yang dibongkar, maka 61% bahan baku yang digunakan untuk pembuatan panel kayu komposit adalah dari limbah pada tahun 2005.

### *3.3.3 Pembuatan Papan Partikel*

Proses pembuatan papan partikel disajikan dalam Gambar. 3.3.1. Tahap pertama proses adalah pembuatan partikel mentah dari campuran limbah kayu yang disebut sebagai “proses pembentukan partikel”. Kayu konstruksi yang dibongkar dan limbah kayu industri diproses secara berbeda saat proses pembentukan partikel. Beberapa proses kemudian dilakukan untuk mengurangi kayu yang besar menjadi ukuran serpihan serta untuk menyingkirkan benda asing. Bahan baku dikirim ke mesin penghancur geser untuk mengurangi ukuran asli, logam dipisahkan dengan menggunakan magnet, dan bahan kemudian dihancurkan lagi dengan menggunakan penghancur martil. Bahan ditapis dan kemudian disortir melalui aliran udara, dimana pasir dan beton akan disingkirkan. Bahan mentah yang tersisa akan disalurkan melalui magnetometer untuk menyingkirkan benda asing bukan logam. Tahapan kedua proses adalah pembuatan papan dari partikel mentah yang dibuat dari proses pertama. Untuk mendapatkan partikel dengan ketebalan yang seragam, cincin penyerpih digunakan untuk pengurangan ukuran partikel. Partikel kemudian dikeringkan dan disaring. Energi untuk tanur pengering seringkali dipasok oleh pembakaran debu yang diproduksi di pembangkit. Partikel akan diklasifikasikan menurut ukuran sebelum diaduk dengan bahan perekat. Blender permukaan dan inti digunakan untuk menghasilkan papan partikel 3 lapisan. Bahan yang tercampur ini kemudian akan ditekan panas, diawetkan, dan diampelas. Uji nondestruktif kadang-kadang dilakukan untuk menyingkirkan produk yang memiliki cacat seperti lepuh. Setelah pengampelasan, produk akan diperiksa untuk pengiriman.



Gambar 3.3.1. Proses pembuatan papan partikel. Sumber Saito, Y., Tokyo Board Industries, Co., Ltd.

### 3.3.4 Penggunaan papan partikel untuk daur ulang bahan

Pembuatan papan partikel merupakan proses yang bernilai untuk mendaur ulang limbah kayu yang biasanya ditimbun dalam tanah atau dibakar. Proses ini membolehkan bahan daur ulang dicampur dengan serat dari sumber lain untuk mencapai sifat-sifat tertentu. Sebagai contoh, dengan membatasi elemen pendek ke dalam inti dan menggunakan elemen lebih panjang dari sumber lain pada bagian permukaan akan meningkatkan kekuatannya. Pembuatan papan partikel merupakan industri yang telah matang di Jepang, meskipun demikian masih ada kesempatan untuk meningkatkan efisiensi proses. Karena harga minyak yang semakin meningkat, maka biaya untuk transportasi, perekat dan energi untuk operasi pabrik terus meningkat. Produsen papan partikel harus bersaing dengan industri yang lain untuk mendapatkan bahan mentah kayu. Kebijakan-kebijakan baru yang memfokuskan pada biomassa kayu sebagai energi menyebabkan situasi bertambah buruk. Kementerian Pertanian, Kehutanan dan Perikanan memulai program komprehensif yang memfokuskan pada sumber biomassa kayu dengan tujuan: 1) pendidikan, 2) kemajuan teknologi untuk bahan bakar transportasi seperti bioetanol, 3) promosi dan jaringan masyarakat yang menggunakan sumber biomassa, 4) penelitian dan pengembangan teknologi untuk menggunakan biomassa kayu dan sumber alam lainnya yang potensial, 5) inisiatif untuk menggunakan produk biomassa dan

mempromosikan daur ulang dan 6) transfer teknologi ke negara-negara Asia yang lain. Kebanyakan industri papan partikel yang menggunakan limbah kayu lokal ingin meningkatkan efisiensi dengan meningkatkan penggunaan bahan daur ulang dan menambah energi untuk tujuan operasi pabrik dengan cara membakar bahan yang tidak sesuai untuk pembuatan papan partikel.

### *3.3.5 Statistika biomassa kayu termasuk panel berbasis kayu*

Biomassa kayu termasuk kulit kayu, serbuk gergaji, dan sisa potongan kayu gergaji, saput kayu, kayu lapis dan produk kayu terekayasa. Jumlah biomassa kayu yang digunakan di Jepang adalah 10,782,000 m<sup>3</sup> pada 2006. Hampir semua jumlah ini (10,197,000 m<sup>3</sup> (95%)) digunakan sebagai sumber biomassa, sedangkan sisanya dibuang. Biomassa kayu diklasifikasikan menjadi: 1) serpihan kayu, 4,408,000 m<sup>3</sup> (43%); 2) bahan bakar, 2,330,000 m<sup>3</sup> (23%); 3) bahan untuk alas hewan ternak, 2,256,000 m<sup>3</sup> (2%); 4) kompos atau bahan perbaikan tanah, 580,000 m<sup>3</sup> (5.7%); dan 5) panel berbasis kayu seperti papan partikel 258,000 m<sup>3</sup> (2.5%). Bahan bakar (2,330,000 m<sup>3</sup>) diklasifikasikan sebagai: 1) energi untuk pengoperasian tanur kering (1,550,000 m<sup>3</sup>), 2) daya listrik (595,000 m<sup>3</sup>), dan 3) energi untuk pembuatan pelet (46,000 m<sup>3</sup>).

### *3.3.6 Aplikasi di Asia*

Kenaf tumbuh lebih cepat dari kayu dan dianggap sebagai bahan ramah lingkungan. Panasonic Malaysia telah menciptakan sistem ramah lingkungan untuk pembuatan papan partikel dari kenaf (*Hibiscus cannabinus*). Proses ini mengurangi pencemaran, sehingga dapat melestarikan ekosistem terumbu karang di Malaysia. Teknik untuk pembuatan papan kenaf mula-mula dikembangkan dengan kerjasama dari Universitas Kyoto yang menggunakan kenaf berasal dari negara Cina. Pada tahun 2005, Panasonic telah berhasil mengembangkan proses untuk penanaman kenaf di Malaysia yang sesuai untuk produksi papan partikel kenaf berkualitas tinggi. Proses ini menghasilkan 30% limbah, serat yang dihasilkan dibakar untuk menghasilkan daya listrik untuk pabrik pembuatan dan abu dikembalikan ke ladang untuk pemupukan kenaf. (lihat <http://panasonic.co.jp/ism/kenaf/index.html>).

### ***Informasi Lebih Lanjut***

- American Society for Testing Materials (ASTM) Standard. D 1554 Standard Terminology Relating to Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials. (2001)
- Japanese Industrial Standard (JIS) A 5908. Particlerboards. (2003)
- “Field survey on use of woody biomass,” Statistic Department, Minister of Agriculture, Forestry and Fishery. (2006)
- Statistics of Ceramics and Construction Materials, Ministry of Trade and Industry, ISBN: 9784903259192. (2006)
- Thomas M. Maloney, Modern Particleboard. ISBN 0-87930-063-9. Published by Miller Freeman Publications Inc. (1977)
- Walter T, Kartal S.N, Hang W.J, Umemura S, Kawai S. Strength, decay and termite resistance of oriented kenaf fiberboard. *J Wood Science*, **53**(6) 481-486 (2007)
- S. Kawai, K. Ohnishi, Y. Okudaira and M. Zhang. Manufacture of oriented fiberboard from kenaf bast fibers and its application to the composite panels. The 2000 International Kanaf Symposium, p. 144-148, Oct. 13-14, Hiroshima (2000)
- K. Ohnishi, Y. Okudaira, M. Zhang, and S. Kawai. Manufacturing and properties of oriented medium density fiberboard from non-wood lignocellulosic fibers I. *Mokuzai Gakkaishi*, **46** (2) 114-123 (2000) (dalam bahasa Jepang)
- S. Suzuki. The state of the arts on current timber structures. V: The state of the arts on reuse and recycle of wooden structures. *Journals of the Society of Materials Science, Japan*, **53**(4) 465-470 (2004) (dalam bahasa Jepang)

# Bab 4. Konversi Termokimia Biomassa

## 4.1 Pembakaran

### *4.1.1 Ruang lingkup*

#### **(a) Apa itu pembakaran?**

Pembakaran merupakan reaksi kimia eksotermis bersama dengan penghasilan panas yang besar dan luminesens, dan ia merupakan fenomena yang mana reaksi dapat berkelanjutan secara spontan melalui panas yang dihasilkan dari reaksi tersebut. Bila biomassa digunakan sebagai bahan bakar, reaksi oksidasi yang menghasilkan panas, dimana karbon, hidrogen, oksigen, sulfur yang mudah bakar, dan nitrogen yang terkandung dalam biomassa akan bereaksi dengan udara atau oksigen, dikenal di industri sebagai proses pembakaran. Proses pembakaran dimulai dengan reaksi fase gas, reaksi permukaan, atau keduanya diikuti dengan proses-proses lain seperti peleburan, penguapan, dan pirolisis. Dalam reaksi pembakaran yang sebenarnya, fenomena yang kompleks seperti penguapan, campuran, difusi, konveksi, konduksi panas, radiasi dan luminesens akan terjadi pada kecepatan yang sangat tinggi. Bahan bakar gas akan terbakar secara terus dalam fase gas sebagai pembakaran pracampur atau pembakaran difusi. Bahan bakar cair akan terbakar sebagai gas ternyalakan dalam fase gas setelah penguapan permukaan, dimana ia disebut sebagai pembakaran penguapan. Minyak berat dan sebagainya akan terbakar saat pembakaran penguapan akan tetapi pembakaran dekomposisi juga akan terjadi, dimana dekomposisi sebagian bahan bakar akan terjadi oleh panas yang dihasilkan.

#### **(b) Bentuk pembakaran**

Bentuk-bentuk pembakaran dari pembakaran langsung biomassa dalam bentuk padat termasuk pembakaran penguapan, pembakaran dekomposisi, pembakaran permukaan, dan pembakaran membara. Dalam pembakaran penguapan, bahan bakar yang mengandung komponen sederhana dengan struktur molekul yang memiliki titik peleburan yang rendah akan melebur dan menguap melalui pemanasan, dan bereaksi dengan oksigen dalam fase gas dan terbakar. Dalam pembakaran dekomposisi, gas yang diproduksi dari dekomposisi termal

melalui pemanasan ( $H_2$ ,  $CO$ ,  $C_mH_n$ ,  $H_2O$ , dan  $CO_2$ ) akan bereaksi dengan oksigen dalam fase gas, membentuk api dan terbakar. Biasanya, arang akan tersisa setelah pembakaran ini dan akan terbakar melalui pembakaran permukaan. Pembakaran permukaan akan terjadi apabila komponen yang hanya terdiri atas karbon yang mengandung sebagian kecil bahan volatil seperti arang, dan oksigen,  $CO_2$  atau uap yang terserap ke dalam pori-pori yang ada di dalam atau pada permukaan padat komponen itu, dan akan terbakar melalui reaksi permukaan. Pembakaran membara merupakan reaksi dekomposisi termal yang terjadi pada suhu yang lebih rendah dari suhu penyalaan komponen volatil bahan bakar reaktif seperti kayu. Jika api dipaksa untuk terbakar atau suhu di atas titik api, pembakaran akan mudah terjadi. Dalam pembakaran langsung di industri, pembakaran dekomposisi dan pembakaran permukaan merupakan bentuk pembakaran yang utama.

### **(c) Metode pembakaran**

Di industri, pembakaran dengan udara berlebihan diberikan bersama-sama dengan jumlah teoretis yang diperlukan untuk pembakaran biomassa. Jika tingkat udara berlebihan adalah terlalu tinggi, maka ia akan mengakibatkan pengurangan suhu pembakaran dan efisiensi termal. Berbagai metode pembakaran biomassa digunakan termasuk pembakaran perapian (Perapian tetap atau bergerak), pembakaran lapisan beralir, pembakaran tanur berputar dan pembakaran burner. Ciri-ciri setiap metode pembakaran disajikan dalam Tabel 4.1.1.

Tabel 4.1.1 Jenis dan ciri-ciri pembakaran biomassa.

| Metode Pembakaran           | Jenis pembakaran  | Ciri-ciri  |
|-----------------------------|---|--|
| Pembakaran lapisan tetap    | Perapian horizontal/miring<br>Perapian pendinginan air<br>Perapian penimbunan           | Perapian adalah sejajar atau miring. Menyala dan membakar sebagai pembakaran permukaan ketika biomassa dikirim ke perapian. Digunakan dalam tanur berskala kecil untuk biomassa yang mengandung kadar abu yang kecil   |
| Pembakaran lapisan bergerak | Perapian bergerak maju<br>Perapian berbalik<br>Perapian bertingkat<br>Perapian "Louver" | Perapian bergerak secara bertahap dan dibagi menjadi zona pembakaran dan setelah pembakaran. Karena emisi abu yang berkelanjutan, beban perapian adalah besar. Halangan pembakaran yang disebabkan oleh abu dapat dihindari. Dapat diaplikasikan untuk berbagai jenis bahan bakar dari jenis serpihan hingga jenis blok. |
| Pembakaran lapisan beralir  | Pembakaran lapisan beralir gelembung<br>Pembakaran lapisan beralir siirkulasi           | Menggunakan pasir sebagai bahan lapisan, mempertahankan bahan bakar dan pasir didalam tanur dalam kondisi mendidih melalui pembakaran udara bertekanan tinggi, dan terbakar melalui penyimpanan termal dan efek transmisi panas oleh pasir. Sesuai untuk bahan bakar berkelembapan tinggi atau bahan bakar kelas rendah. |
| Pembakaran tanur berputar   | Tanur kiln  | Digunakan untuk pembakaran bahan bakar berkelembapan tinggi seperti lumpur organik cair dan limbah makanan, atau limbah besar dan sebagainya. Dibatasi oleh ukuran bahan bakar karena fluiditasnya   |
| Pembakaran burner           | Burner  | Membakar serbuk kayu dan serbuk halus seperti empulur ampas tebu menggunakan burner, sama untuk bahan bakar cair.  |

#### (d) Aplikasi

Pembakaran biomassa merupakan penggunaan biomassa termudah untuk mendapatkan panas, dan digunakan secara luas karena pengalaman teknologi bahan bakar fosil yang ada dapat diaplikasikan, karena penghasiian NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, HCl dan dioksin adalah rendah, yang merupakan kelebihan pembakaran biomassa dan juga karena kemampuan terbakarnya juga sangat baik. Panas pembakaran digunakan untuk pembangkit listrik dan produksi panas melalui pengembalian kembali panas dari media pemindah panas seperti uap dan air panas menggunakan ketel kukus dan konverter panas.

Dalam penyediaan air panas dan pusat energi untuk kompleks industri, kogenerasi

berbahan bakar dari sisa kayu dan pertanian digunakan secara luas. Ada banyak pembangkit listrik dan pembangkit pemanfaatan panas tanpa memperhatikan skala telah menggunakan sekam padi, ampas tebu, sisa kayu, sisa kelapa sawit dan kotoran ayam, ternak dan sebagainya sebagai bahan bakar.

### ***Informasi Lebih Lanjut***

Fujii, S. in “Baiomasu Enerugino Riyo, Kenchiku, Toshi Enerugi Sisutemuno Shingijutsu”, Kuuki Chowa Eisei Kogakkai Ed., 2007, pp. 212-218 (dalam bahasa Jepang)

Mizutani, Y. in “Nensho Kogaku”, 3ed., Morikita Shuppan, 2002, pp. 169-181 (dalam bahasa Jepang)

### ***4.1.2 CHP***

#### **(a) Apa itu CHP?**

Produksi listrik dan panas dari satu sumber energi pada waktu yang sama disebut Panas dan Daya Tergabung (*Combined Heat and Power*, CHP). Karena efisiensi energi adalah lebih tinggi dibandingkan hal yang hanya menghasilkan listrik, perhatian telah diberikan kepada CHP melalui penggunaan energi yang efektif.

#### **(b) Konversi energi dalam CHP**

Untuk menghasilkan listrik dari biomassa, energi dari biomassa diubah menjadi energi kinetik untuk menggerakkan dinamo dan sebagai akibatnya energi listrik diperoleh. Metode utama untuk mengubah energi biomassa menjadi energi kinetik adalah sebagai berikut; 1) Uap yang berasal dari panas pembakaran biomassa dan turbin uap diputar, 2) Gas mudah terbakar yang berasal dari pirolisis atau degradasi mikrob biomassa dan mesin gas atau turbin gas diputar menggunakan gas. Dalam beberapa kasus, panas yang diperoleh dari pembakaran diubah menjadi energi kinetik. Karena semua energi termal tidak dapat diubah menjadi energi kinetik, maka sebagian panas akan dilepaskan. Efisiensi energi untuk pemanfaatan biomassa dapat diperbaiki jika panas ini dapat dikumpulkan dan disertakan bersama-sama dengan listrik. CHP memiliki kelebihan untuk meningkatkan efisiensi konversi energi melalui cara ini.

#### **(c) Kemungkinan untuk pembangkit skala besar**

CHP dapat juga diaplikasikan untuk pembangkit listrik skala besar. Tujuan utama menempatkan pembangkit listrik termal dan pembangkit nuklir dekat pesisir atau sungai yang

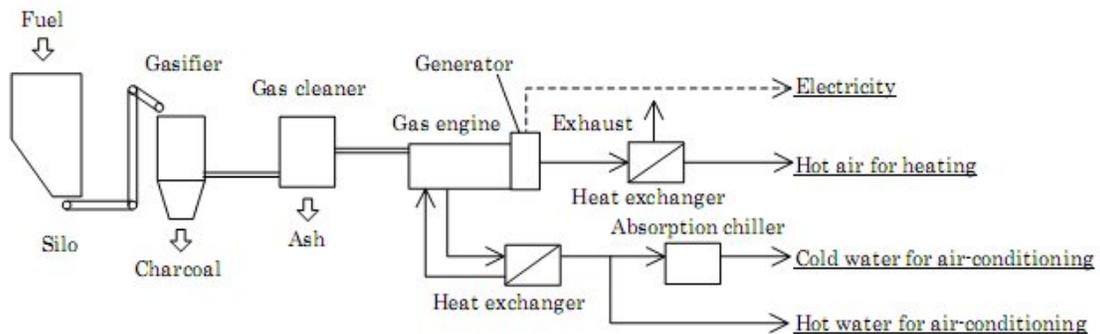
besar adalah untuk memanfaatkan air laut atau air sungai tersebut untuk menghilangkan panas. Di sisi lain, ada kemungkinan untuk menjual panas yang dihasilkan dari pembangkit listrik ke pabrik-pabrik terdekat. Penting untuk mempertimbangkan pasokan panas saat ingin membangun pembangkit listrik skala besar.

**(d) Penerapan untuk pabrik dan kompleks perumahan**

Fasilitas CHP dapat dirancang dan dibangun di dalam pabrik atau kompleks perumahan berdasarkan permintaan untuk listrik dan panas. Ada berbagai spesifikasi untuk panas yang diperoleh dari uap pada suhu dan tekanan tinggi pada air hangat. Pengumpulan dan penyediaan panas adalah lebih mudah pada suhu dan tekanan rendah. Uap dan air panas dapat juga disediakan dengan menggabungkan fasilitas CHP dengan ketel kukus yang sudah ada. Jika biomassa digunakan sebagai bahan bakar, efisiensi produksi akan berkurang apabila skala fasilitas menjadi lebih kecil. Untuk kasus proses ketel kukus dan turbin, skala 2.000 kW atau lebih untuk output listrik adalah diperlukan dan untuk kasus proses gasifikasi dan mesin gas, skala 50 kW atau lebih untuk output listrik juga diperlukan.

**(e) Contoh**

Salah satu contoh fasilitas CHP berskala kecil yang menggunakan biomassa kayu disajikan di bawah. Di dalam fasilitas ini, sisa kayu dari pabrik digunakan sebagai bahan bakar, pirolisis dan gasifikasi, sedangkan listrik, udara panas, air panas dan air dingin disuplai ke pabrik. Diagram alir proses disajikan dalam Gambar 4.1.1.



Gambar 4.1.1. Skema diagram alir CHP kecil menggunakan biomassa kayu.

Output daya listrik kotor adalah 175 kW dan output daya bersih adalah 157 kW. Output panas adalah 174 kW (150 Mcal/jam) sebagai udara panas (67°C), 116 kW (100 Mcal/jam)

sebagai air panas (80°C) dan 70 kW (60 Mcal/jam) sebagai air dingin (7°C). Efisiensi energi dalam fasilitas dapat ditingkatkan dengan menggunakan panas yang awalnya dibuang sebagai gas buang dan air pendingin.

### *4.1.3 Ko-pembakaran*

#### **(a) Apa itu ko-pembakaran**

Ko-pembakaran mengacu pada teknologi dimana biomassa dibakar bersama-sama dengan bahan bakar fosil di pembangkit listrik termal dan sebagainya. Kelebihan teknologi ini adalah ia hanya membutuhkan modifikasi yang kecil terhadap alat yang ada untuk memungkinkan perawatan biomassa dan pembakaran biomassa di fasilitas pembakaran skala besar dengan efisiensi yang tinggi. Disini, pengenalan akan diberikan terhadap penelitian dan pengembangan teknologi ko-pembakaran batu bara dan biomassa kayu yang telah diimplementasikan secara bersama oleh The Chugoku electric Power C., Inc., Hitachi Ltd dan Babcock-Hitachi K.K.

#### **(b) Sasaran**

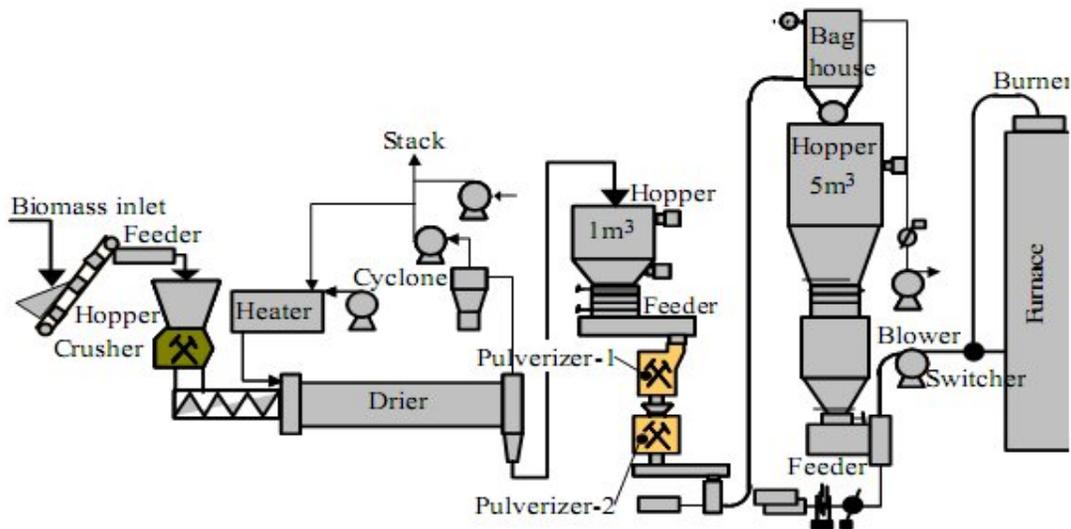
Jika biomassa kayu dengan persentase 5-10% dibakar di dalam pembangkit listrik pembakaran batu bara (rasio bahan bakar campuran disajikan berdasarkan nilai kalori), tujuannya adalah untuk mendapatkan operasi yang stabil dan memenuhi standar lingkungan dan pada waktu yang sama meminimalkan setiap pengurangan efisiensi produksi. Dengan tujuan untuk menghasilkan efisiensi sekitar 40% seperti yang diproduksi dalam pembangkit listrik pembakaran batu bara, maka pengurangan efisiensi pada ujung pengiriman harus dibatasi sebesar 0.5% saat laju pembakaran campuran bahan bakar adalah 5% (dan sekitar 0.8% saat laju pembakaran campuran bahan bakar adalah 10%).

#### **(c) Bahan baku**

Berdasarkan analisis komponen pohon cemara, cedar, dan bambu, dll., biomassa kayu memiliki kadar volatil yang lebih tinggi dari batu bara (batu bara bitumen), dengan rasio bahan bakarnya (rasio kadar karbon tetap banding kadar bahan volatil) adalah sekitar 1/10 dari batu bara dan kadar abunya adalah rendah. Untuk uji yang dilakukan dalam penggilingan martil yang kecil, dll., penggunaan kekuatan gilingan untuk biomassa kayu adalah 10 kali lebih tinggi dari yang digunakan untuk batu bara dengan berat yang sama dan uji gilingan bersamaan biomassa berkayu dan arang menemukan kebolehpengisaran arang berkurang dengan banyak ketika rasio campuran kayu dinaikkan.

#### (d) Aliran proses

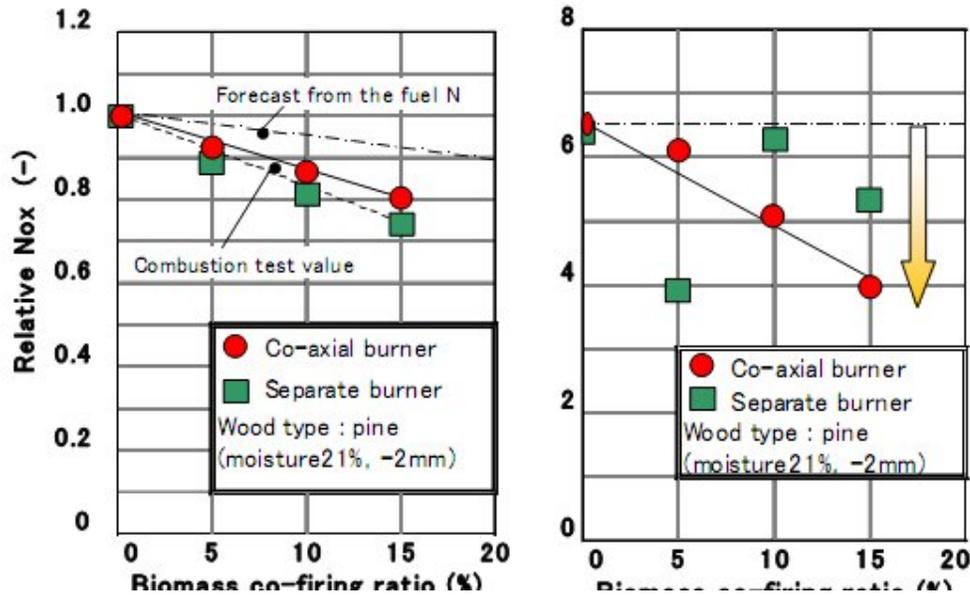
Gambar 4.1.2 menunjukkan diagram alir alat pra perlakuan biomassa. Biomassa kayu yang terdiri atas kayu tipis dan serpihan bambu yang berasal dari daerah Chugoku dengan ukuran tidak lebih dari 50 mm dan kadar air sebanyak 50 wt%. Serpihan ini kemudian dihancurkan dengan ukuran yang sesuai untuk pengeringan (tidak melebihi 20 mm) dan dikeringkan sehingga kandungan air 20% atau kurang. Selanjutnya, 2 jenis semprotan dikombinasikan untuk menyeragamkan ukuran kepingan itu sampai 1~5 mm, dan bahan tersebut kemudian dikirim ke dalam tanur dengan menggunakan pengumpan kuantitas tetap. Laju pembakaran campuran bahan bakar adalah maksimum pada 15%. Dua jenis pembakar telah digunakan: pembakar sesumbu campuran batu bara dan biomassa dan pembakar khusus biomassa (diinstal secara terpisah).



Gambar 4.1.2 Skema aliran pra perlakuan.

#### (e) Hasil

Gambar 4.1.3 menunjukkan beberapa hasil uji. Jika proporsi bahan bakar campuran dinaikkan, bahan tak terbakar dan nilai relatif NO<sub>x</sub> akan menurun baik pada pembakar sesumbu maupun pada pembakar yang terpasang secara terpisah. Pengurangan bahan tak terbakar mengindikasikan bahwa campuran biomassa volatil tinggi telah menyebabkan suhu sekitar meningkat dan efisiensi pembakaran bahan bakar itu sendiri juga meningkat. Laju penurunan NO<sub>x</sub> lebih rendah dari nilai yang diperkirakan berdasarkan laju penurunan kadar N didalam bahan bakar.



Gambar 4.1.3 Hasil uji pembakaran bahan bakar campuran.

**(f) Efisiensi**

Berdasarkan hasil uji pembakaran, alat dasar dan komposisi sistem untuk aplikasi pada pembangkit listrik pembakaran batu bara yang ada (telah dipilih 3 unit dengan 75-500 MW) telah dikaji dan efisiensi pembangkit listrik dan biaya produksi telah dinilai. Faktor-faktor yang dapat menyebabkan pembakaran bahan bakar campuran mempengaruhi efisiensi produksi listrik adalah disebabkan perubahan pada efisiensi ketel kukus dan daya bantu. Serpihan kayu tipis dengan kadar air 30% dan ukuran serpihan 50 mm atau kurang dikeringkan secara alami di tanah hutan, berikutnya dikirim ke stasiun listrik, kayu ini akan diubah menjadi biomassa serpihan dengan 20% kadar air dan ukuran partikel 2 mm diikuti dengan penggilingan dan pengiriman, serta dibakar di dalam ketel kukus, efisiensi ketel kukus menurun sedikit disebabkan oleh kadar air di dalam biomassa kayu tersebut. Mengenai daya bantu pembangkit listrik, dari hasil uji coba dan juga berdasarkan estimasi daya penghancuran yang menggunakan alat “two-stage shock crusher”, nilai penurunan dan efisiensi masing-masing adalah sebesar 0.44% dan 0.77% ketika rasio campuran bahan bakar adalah 5% dan 10%, dan nilai-nilai tersebut berada dalam jangkauan target, yaitu sebesar 0.5% dan 0.8%. Selain itu, perbandingan biaya antara pembakaran biomassa kayu (10 MW) dan pembakaran campuran bahan bakar adalah sebagai berikut: biaya pembakaran campuran bahan bakar adalah lebih murah dibandingkan pembakaran khusus (11.3 yen/kWh), maka keunggulan pembakaran campuran bahan bakar dibenarkan.

## 4.2 Gasifikasi

### 4.2.1 Definisi

Proses untuk mengonversi bahan baku biomassa padat menjadi bahan bakar gas atau bahan baku gas kimia (syngas) disebut gasifikasi atau gasifikasi termokimia.

### 4.2.2 Klasifikasi metode gasifikasi

Metode gasifikasi diklasifikasikan menurut kombinasi faktor kondisional seperti ditunjukkan pada Tabel 4.2.1.

Tabel 4.2.1 Klasifikasi Metode Gasifikasi

| Klasifikasi                       | Faktor kondisional  |
|-----------------------------------|---|
| Tekanan gasifikasi                | Tekanan normal (0,1-0,12 MPa), Tekanan tinggi (0,5-2,5 MPa)   |
| Suhu gasifikasi                   | Suhu rendah (dibawah 700°C), Suhu tinggi (diatas 700°C), Dekomposisi suhu tinggi (titik fusi abu keatas)  |
| Agen gasifikasi                   | Udara, oksigen, uap dan kombinasinya, karbon dioksida untuk waktu tertentu  |
| Pemanasan (Zona pembentukan suhu) | Gasifikasi langsung (pembangkitan panas melalui reaksi gasifikasi sebagian dari bahan baku dan oksigen)<br>Gasifikasi tidak langsung (pemanasan bahan baku dan agen gasifikasi melalui panas dari luar) |
| Tipe-tipe gasifikasi              | Fixed bed, flow bed, circulating flow bed, entrained bed, mixing bed, rotary kiln, twin tower, molten furnace   |

### 4.2.3 Pemeriksaan sifat bahan biomassa

Pemeriksaan sifat bahan biomassa diperlukan sebelum merencanakan gasifikasi .

#### (a) Analisis Unsur

Karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), belerang (S), nitrogen (N) dan klorin (Cl) diamati melalui analisis unsur (pengkodean HCN, dll). Belerang dan/atau klorin berlebihan dapat menyebabkan korosi pada peralatan pabrik. Rumus molekul yang disingkat dengan  $C_nH_mO_p$  dapat ditentukan dengan mendapatkan rasio mol untuk karbon (C), hidrogen (H) dan oksigen (O). Untuk biomassa yang terdiri atas rumput dan kayu,  $n = 1,2-1,5$  dan  $p = 0,8-1,0$  saat  $m = 2$ .

### **(b) Komposisi abu dan titik fusi**

Titik pelunakan abu, titik fusi dan titik aliran harus diukur di keduanya, yaitu oksidasi dan reduksi atmosfer. Masalah dengan peralatan pabrik terjadi lebih mudah ketika suhu titik fusi rendah.

### **(c) Analisis teknis**

Analisis teknis dilakukan pada bahan baku biomass untuk menentukan kelembaban permukaan, kelembaban yang melekat, bahan yang mudah menguap, kadar karbon tetap dan kadar abu, begitu juga dengan bahan berkalori tinggi dan rendah. Nilai sifat bahan ini penting untuk analisis gasifikasi.

## *4.2.4 Agen gasifikasi*

Untuk mengonversi biomassa padat menjadi gas yang mudah terbakar, diperlukan bahan untuk mendorong reaksi kimia tersebut. Bahan ini disebut agen gasifikasi, Bahan ini utamanya adalah udara ( $N_2$ ,  $O_2$ ), oksigen ( $O_2$ ),  $H_2O$ , atau  $CO_2$  diaplikasikan pada campuran. Udara (hanya  $O_2$  yang bereaksi) dan  $O_2$  membangkitkan panas melalui oksidasi, dan peningkatan  $O_2$  efektif menurunkan jumlah gas yang mudah terbakar.

## *4.2.5 Fenomena penting dari gasifikasi biomassa*

Proses-proses gasifikasi yang penting adalah sebagai berikut:

### **(a) Penguapan kelembaban permukaan**

Kelembaban permukaan menguap dari bahan baku pada titik didih air (tergantung pada tekanan). Kelembaban di dalam bahan akan tetap bila bahan bakunya besar.

### **(b) Penguapan kelembaban yang melekat**

Setelah penguapan kelembaban permukaan, kelembaban yang melekat menguap pada  $110-120^\circ C$ .

### **(c) Volatilisasi**

Dekomposisi termal biomassa dimulai pada  $200-300^\circ C$ , dan  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $H_2$  dan  $H_2O$  menguap sebagai gas. Dekomposisi termal adalah reaksi pembangkitan panas yang merupakan karakteristik dari biomassa ( $C_nH_mO_p$ ).

### **(d) Reaksi gasifikasi dan volatilisasi**

Suhu dinaikkan lebih lanjut selama volatilisasi, dan bahan yang mudah menguap dari hidrokarbon ringan ( $C_xH_y$ : di mana x dan y adalah bilangan bulat dari setidaknya 1; nilai x yang rendah menunjukkan ringan dan nilai x yang tinggi menunjukkan berat) diubah menjadi

$C_xH_y$  yang berat dengan titik didih tinggi. Selanjutnya,  $C_xH_y$  bereaksi dengan agen gasifikasi untuk dikonversi menjadi molekul gas ringan dan bersih, meskipun tar dan jelaga dapat terbentuk ketika difusi dari agen gasifikasi terjadi secara perlahan dan  $C_xH_y$  mengembun.

#### **(e) Gasifikasi arang**

Setelah penguapan dari bahan yang mudah menguap dalam bahan baku biomassa, karbon tetap dan abu menjadi arang, dan arang kemudian dipanaskan sampai suhu disekitarnya. Reaksi lanjutan dengan agen gasifikasi merubah karbon menjadi CO dan CO<sub>2</sub>. Namun, dalam kasus dimana agen gasifikasi mengandung uap berlebih dan suhu sekitarnya lebih dari 750°C, reaksi gas basah terjadi ( $C + H_2O \rightarrow CO + H_2$ ), menghasilkan gas yang terutama terdiri atas CO, CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>.

#### **(f) Residu arang**

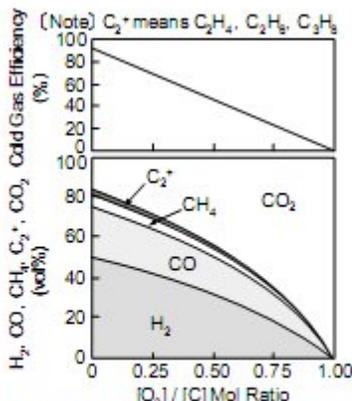
Laju reaksi dari reaksi gas basah berjalan secara perlahan, dan sisa arang dengan mudah dapat terbentuk. Pembentukan tar, jelaga dan arang cenderung mengurangi efisiensi, serta menyebabkan masalah pada peralatan.

### *4.2.6 Karakteristik gas produk gasifikasi*

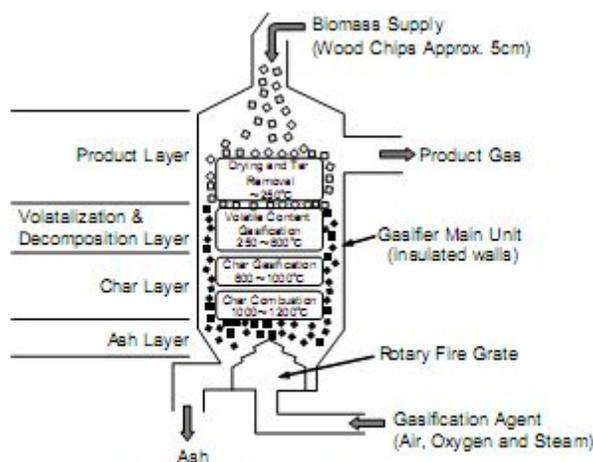
Gasifikasi pada umumnya mengadopsi metode gasifikasi langsung dengan pembakaran parsial bahan baku untuk menaikkan suhu. Bahan baku terutama potongan kayu dan batang jagung. Kebanyakan tungku gasifikasi menggunakan tekanan normal dan proses gasifikasi langsung. Untuk menjaga suhu reaksi tetap pada 800°C ke atas untuk gasifikasi langsung, udara, oksigen dan uap (yang sesuai) diperlukan untuk agen gasifikasi. Untuk tujuan ini, sekitar 1/3 dari oksigen yang dibutuhkan untuk pembakaran sempurna (dikenal sebagai rasio oksigen) disediakan, dengan pembakaran parsial (oksidasi parsial) menyebabkan gasifikasi. Nilai kalor produk gas tergantung pada persentase gas yang mudah terbakar (CO, H<sub>2</sub>,  $C_xH_y$ ) yang terkandung. Umumnya, gas dapat dibagi menjadi gas rendah kalori (4-12 MJ/m<sup>3</sup>), gas kalori menengah (12-28 MJ/m<sup>3</sup>) dan gas kalori tinggi (di atas 28 MJ/m<sup>3</sup>). Untuk sebagian besar, gasifikasi langsung biomassa menghasilkan gas rendah kalori. Gambar 4.2.1 menyajikan komposisi produk gas dari jerami padi ketika uap dan oksigen digunakan sebagai agen gasifikasi. Rasio antara kadar kalor biomassa dan produk gas (pada suhu kamar) disebut efisiensi gas dingin.

### 4.2.7 Peralatan gasifikasi dan contoh praktis

Berikut disajikan gasifier fixed bed, berdasarkan pembakaran atau gasifikasi bahan bakar padat, dan menampilkan struktur yang relatif sederhana dan biaya peralatan yang rendah. Gambar 4.2.2 menunjukkan diagram konsep gasifier. Potongan kayu sekitar 2,5-5 cm umumnya digunakan sebagai bahan baku. Potongan kayu tersebut dimasukkan dari lubang masukan atas, dan berlapis di dalam tungku. Agen gasifikasi (udara, oksigen, uap atau campurannya) diberikan dari bawah dengan aliran naik (beberapa sistem menggunakan aliran menurun). Reaksi gasifikasi berlangsung dari bawah ke arah atas. Dari bawah ke atas, lapisan individu terbentuk karena perubahan yang menyertai gasifikasi dari bahan baku, dalam urutan abu, arang, bahan yang telah diupkan dan terdekomposisi, dan produk. Produk Gas diperoleh di bagian atas.



Gambar 4.2.1. Perubahan komposisi produk gas karena rasio oksigen.



Gambar 4.2.2. Diagram konsep fixed bed gasifier.

### Informasi Lebih Lanjut

Kawamoto, H. dalam "Baiomasu, Enerugi, Kankyo", Saka, S. Ed, IPC., 2001, pp.240-244 (dalam bahasa Jepang)

Sakai, M. dalam "Baiomasu, Enerugi, Kankyo", Saka, S. Ed, IPC, 2001, pp.409-421 (dalam bahasa Jepang)

Takeno, K. dalam "Baiomasu Enerugi Riyono Saishin Gijutsu", Yukawa, H. Ed. CMC, 2001, pp.59-78 (dalam bahasa Jepang)

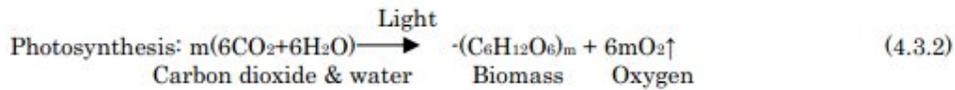
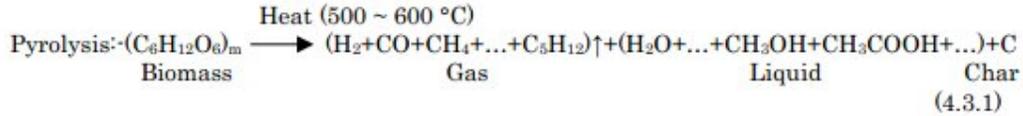
Sakai, M. "Baiomasuga Hiraku 21 Seiki Enerugi", Morikita Shuppan (1998) (dalam bahasa Jepang)

Yokoyama, S. "Baiomasu Enerugi Saizensen", Morikita Shuppan, 2001, pp.87-95 (dalam bahasa Jepang)

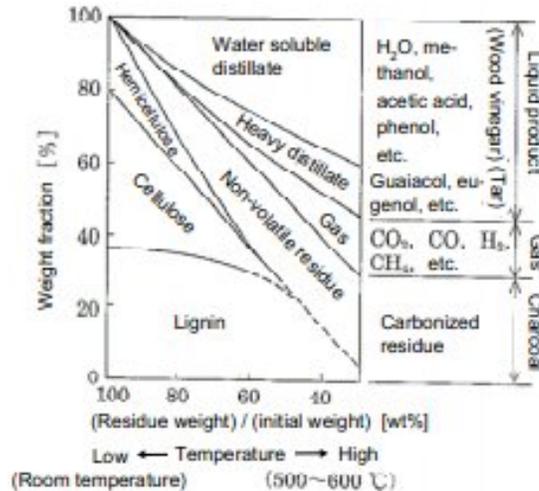
## 4.3 Pirolisis

### 4.3.1 Apa itu pirolisis?

Biomassa terutama terdiri atas karbon, hidrogen dan oksigen. Fotosintesis dan pirolisis dapat digambarkan secara sederhana seperti persamaan berikut,



Komponen kimia utama dari biomassa adalah selulosa, hemiselulosa dan lignin. Gambar 4.3.1 menunjukkan komposisi yang berubah selama pirolisis. Selulosa, hemiselulosa dan lignin terdekomposisi seiring dengan kenaikan suhu. Residu padat adalah arang dengan hasil antara 10 sampai 25%.



Gambar 4.3.1. Perubahan komposisi selama pirolisis.

### 4.3.2 Karakteristik pirolisis

Selama pirolisis, kelembaban menguap pertama kali (100°C), kemudian hemiselulosa terdekomposisi (200-260°C), diikuti oleh selulosa (240-340°C) dan lignin (280-500°C). Ketika suhu mencapai 500°C, reaksi pirolisis hampir selesai. Oleh karena itu, pada laju

pemanasan  $10^{\circ}\text{C}/\text{dtk}$ , pirolisis selesai dalam 1 menit, atau pirolisis selesai dalam 5 detik pada  $100^{\circ}\text{C}/\text{dtk}$ . Semakin tinggi laju pemanasan semakin mempercepat pembentukan produk yang mudah menguap, meningkatkan tekanan, waktu tinggal yang pendek dari produk yang mudah menguap di dalam reaktor, dan hasil produk cair yang lebih tinggi; dinamakan pirolisis cepat atau pirolisis kilat. Dynamotive (Canada) dan BTG (Belanda) telah mengembangkan reaktor untuk pirolisis cepat, yang menunjukkan hasil produk cair yang tinggi, yaitu 60 sampai 80%. Karena tahanan panas dari kayu berkisar antara 0,12-0,42 W/(m K), yaitu sekitar 1/1000 dari tembaga, transfer panas menjadi penting untuk pirolisis cepat, dan diperlukan penghancuran kayu menjadi partikel kecil.

### *4.3.3 Reaktor skala laboratorium*

Keseimbangan suhu adalah yang paling sering digunakan di laboratorium untuk studi dasar. Jumlah contoh yang sangat sedikit, sekitar beberapa mg sampai puluhan mg, dipanaskan dari suhu kamar ke suhu yang diinginkan pada tingkat pemanasan yang diinginkan untuk mengukur perubahan berat. Namun, sulit untuk memulihkan produk.

Beberapa gram sampai puluhan gram contoh digunakan pada reaktor skala laboratorium untuk memulihkan produk. Pasir mandi atau garam mandi cair digunakan sebagai pemanas untuk reaktor tipe batch. Pemanas dengan sinar inframerah biasanya digunakan untuk reaktor kontinu. Pada reaktor ini, dipelajari keseimbangan masa dan analisis produk.

### *4.3.4 Reaktor di R&D*

NREL, Amerika Serikat, telah mengembangkan sebuah reaktor pusaran, di mana partikel kayu meluncur pada dinding reaktor yang panas oleh putaran aliran gas panas. Dengan revolusi tersebut, permukaan baru selalu muncul pada partikel kayu, dan kemudian pirolisis kilat terealisasi. BTG, Belanda, telah mengembangkan sebuah reaktor jenis jagung berputar, di mana pasir panas yang digunakan sebagai media transfer panas dan pasir bergerak oleh gaya sentrifugal dari reaktor yang diputar.

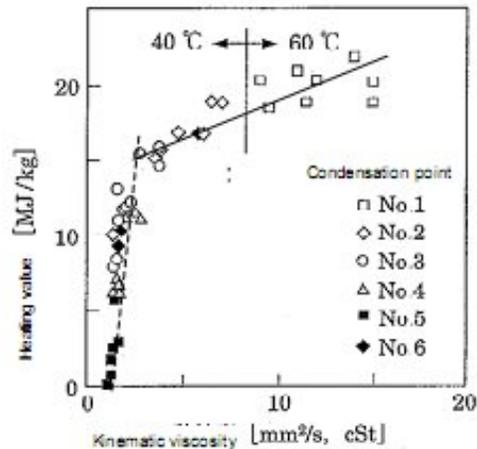
Banyak jenis reaktor fluidized bed (FB) yang telah dikembangkan oleh Dynamotive-RTI, Pasquali-ENEL (Italia), Ensyn, (Kanada), RedArrow-Ensyn (AS), Union Fenosa-Waterloo Spanyol, VTT (Finlandia), dll. Partikel kecil dari kayu dimasukkan ke dalam FB dengan gas panas atau media pindah panas, dan partikel kayu tersebut dengan cepat

dipirolisis untuk menghasilkan produk cair yang tinggi. Karena proses pemasukan partikel kayu halus cukup sulit, masalah tar mudah sekali muncul.

AIST, Jepang, telah mengembangkan pirolisis dengan menggunakan microwave. Microwave dapat memanaskan kayu dari dalam dan kayu ukuran besar, log, langsung digunakan. Diperoleh hasil yang sama dengan pirolisis kilat pada 200°C/dtk. Ukuran yang lebih besar lebih baik untuk efisiensi energi, dan sekitar 1,4 MJ (0,4 kWh) digunakan untuk pirolisis lengkap dari 1-kg kayu. Selain itu, dalam pirolisis ini, masalah tar hanya sedikit.

### 4.3.5 Produk

Cairan, gas dan arang diperoleh dengan pirolisis. Cairan memiliki kelembaban tinggi yang berasal dari kelembaban asli (80-40%) dan air yang dihasilkan (14-17%), dan itu merupakan campuran air dan bahan organik polar. Nilai pemanasannya yang lebih tinggi adalah sekitar 12,5-21 MJ/kg. Hubungan antara viskositas dan nilai pemanasan cairan ditunjukkan pada Gambar 4.3.2. Kadar air tinggi menghasilkan viskositas rendah dan nilai pemanasan yang lebih rendah. Selain itu, cairan tersebut tidak stabil, dan diperlukan pengembangan.



Gambar 4.3.2. Hubungan antara viskositas dan nilai kalor cairan pirolisis.

Gas pirolisis memiliki banyak CO<sub>2</sub>, dan CO, H<sub>2</sub>, C1-5 hidrokarbon sebagai gas yang mudah terbakar. Arang memiliki nilai pemanasan yang paling tinggi, yaitu 32 MJ/kg, dan cocok sebagai bahan baku untuk karbon aktif. Namun, semua arang biasanya digunakan sebagai sumber panas untuk sistem pirolisis.

### 4.3.6 Status teknologi

Cairan pirolisis tidak dapat dicampurkan dengan bahan bakar transportasi, dan perbaikan, apapun itu, diperlukan. Ada masalah tar, tapi pengetahuan dalam pengoperasian reaktor tidak dibuka. Untuk mendapatkan cairan dengan hasil tinggi, pemanasan dan pendinginan cepat diperlukan, dan kehilangan panas dan pemulihan merupakan masalah penting. Manfaat dan cela harus dipertimbangkan.

### ***Informasi Lebih Lanjut***

Miura, M. "Biomassa Handbook", Japan Institute of Energy Ed, Ohm-sha., 2002, pp.106-115 (dalam bahasa Jepang)

Miura, M.; Kaga, H.; Sakurai, A.; Takahashi, K. Rapid pyrolysis of wood block by microwave heating, *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, 71, 187-199 (2004)

## **4.4 Karbonisasi**

### ***4.4.1 Apa itu karbonisasi?***

Karbonisasi merupakan metode atau teknologi untuk memperoleh arang sebagai produk utama dengan memanaskan biomassa padat seperti kayu, kulit kayu, bambu, sekam padi, dll pada 400-600°C di hampir tidak ada atau sama sekali tidak ada udara atau oksigen. Hal ini dapat menghasilkan tar, asam pyroligneous, dan gas mudah terbakar sebagai hasil samping produk. Dalam kasus diskriminasi dari 'distilasi kering' yang mengarah pada pemulihan dan pemanfaatan produk-produk cair, 'pembuatan arang' merupakan terminologi yang digunakan. Karbonisasi umumnya berarti pembuatan arang, meskipun itu merupakan istilah umum termasuk distilasi kering.

### ***4.4.2 Karakteristik karbonisasi***

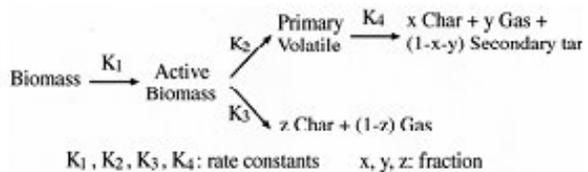
Karbonisasi adalah konversi energi klasik dari biomassa, mirip dengan pembakaran. Sementara tujuan utamanya adalah peningkatan nilai kalor dari produk arang yang padat, hal tersebut memiliki dua sisi dari pencairan dan gasifikasi. Pencairan berarti sesuai dengan proses pirolisis biasa (lihat Bab 4.3), operasi komersial awal diperiksa bersama-sama dengan proses tekanan tinggi (langsung) (Bab 4.6). Namun, tar yang diperoleh (minyak) memiliki hasil yang rendah (<30%) dengan kualitas yang buruk (viskositas tinggi, kadar oksigen yang tinggi, nilai kalor rendah, pH rendah, dll), sehingga proses tersebut dihentikan setelah kemunculan proses pirolisis cepat (Bab 4.3) yang menghasilkan minyak lebih banyak. Sebagai proses gasifikasi (Bab 4.2), lebih inferior daripada proses saat ini dalam proses produksi komponen yang terbakar, karena suhu reaksi yang rendah. Dalam pemanfaatan produk gas untuk pembangkitan, sejumlah besar tar harus dihilangkan. Namun demikian, karbonisasi yang memiliki keunggulan industri, yaitu peralatannya yang murah dan pengoperasian yang mudah masih penting untuk memproduksi bahan bakar padat murah dengan nilai pemanasan tinggi.

Ciri tersebut membuat proporsi tertentu dari karbon organik secara stabil diikat dan ciri yang membuat volume limbah kota, sampah, lumpur limbah, kotoran sapi, dll secara efektif mengurangi kontribusi untuk pengendalian emisi CO<sub>2</sub> dan berfungsi sebagai ukuran praktis untuk membuang berbagai limbah yang ada.

#### 4.4.3 Reaksi karbonisasi

Reaksi karbonisasi pada dasarnya sama dengan reaksi pirolisis dalam suatu gas yang lembam seperti nitrogen. Untuk kayu, setelah hampir semua air diuapkan pada suhu di bawah 200°C, tiga komponen utama, yaitu selulosa, hemiselulosa, dan lignin terdekomposisi untuk menghasilkan fraksi cair dan fraksi gas, terutama terdiri atas CO dan CO<sub>2</sub>, pada 200-500°C, oleh karenanya menghasilkan penurunan berat yang cepat. Pada wilayah ini, tiap komponen dari kayu melalui proses dehidrasi dan depolimerisasi untuk mengulangi fisi dan pengikatan ulang secara intermolekuler dan intramolekuler, dan fragmen berbobot molekul rendah yang dihasilkan dipecah menjadi produk cair dan gas, sedangkan fragmen berbobot molekul tinggi yang terbentuk melalui kondensasi diarahkan bersama dengan bagian yang tidak terdekomposisi. Walaupun kehilangan berat menjadi lebih kecil pada suhu di atas 500°C, karbon aromatik terpolikondensasi meningkat dengan evolusi dari H<sub>2</sub> sampai berkisar 80% C di arang sampai 700°C. Dengan peningkatan suhu lebih lanjut, struktur karbon terpolikondensasi berkembang untuk meningkatkan kandungan C tanpa produksi H<sub>2</sub> lebih lanjut. Skema keseluruhan dari

karbonisasi ditunjukkan pada Gambar 4.4.1. Hal ini menegaskan bahwa distribusi produk bergantung pada kedua langkah, yaitu dekomposisi dari “meleleh” yang dihasilkan dari partikel

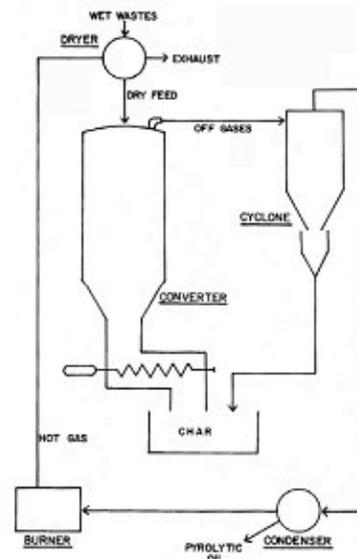


Gambar 4.4.1. Skema Broide-Shafizadeh termodifikasi.

kayu menjadi gas, cairan, dan fraksi padat (tahap pertama) dan dekomposisi lanjutan dari fraksi cair (tahap kedua), dan rasio dari laju konstan untuk tahap pertama ke tahap kedua. Distribusi juga dipengaruhi oleh kelembaban dan ukuran dari bahan, laju pemanasan, suhu operasi, dll. Tiga terakhir tersebut secara umum penting, dan hasil produk cair (tar) meningkat seiring dengan penurunan ukuran dan peningkatan laju. Suhu yang lebih tinggi membuat arang yang dihasilkan lebih sedikit dan tar yang dihasilkan lebih tinggi di bawah suhu 500°C. Tekanan juga penting, dan hasil dari tar menjadi lebih tinggi pada nilai yang lebih rendah.

#### 4.4.4 Efisiensi energi dari karbonisasi

Karbonisasi kontinu dari campuran kulit pinus dan serbuk gergaji oleh sistem pirolisis *Tech-Air* (Gambar 4.4.2) digambarkan sebagai contoh. Ini merupakan proses pasokan panas internal dengan reaktor unggun tetap vertikal. Bahan baku dimasukkan di bagian atas reaktor setelah kelembaban awal dikurangi dari 25-55% menjadi 4-7%. Panas untuk karbonisasi disediakan oleh pembakaran parsial dari bahan baku dengan udara yang berasal dari bagian bawah reaktor. Arang yang dihasilkan dikeluarkan dengan sekrup dari bagian bawah yang lain, sedangkan produk uap melewati siklon dimana partikel padat halus dihilangkan sebelum masuk di kondensor untuk pemulihan tar (minyak). Gas yang tidak terkondensasi



Gambar 4.4.2. Sistem pirolisis *Tech-Air*.

kemudian dibakar dalam pembakar, dan gas yang dikeluarkan (204-316°C) digunakan untuk pengeringan bahan baku. Suhu reaktor yang bervariasi dari 430° sampai 760°C dikendalikan untuk memungkinkan nilai kalor dari gas pirolitik memiliki energi yang diperlukan untuk pengeringan bahan baku. Tabel 4.4.1 merangkum distribusi produk dan dua proses efisiensi, yang didefinisikan sebagai Efisiensi Thermal Bersih (NTE, %) dihitung sebagai  $\frac{\text{kalor pemanasan produk} - \text{panas proses (gas untuk mengeringkan)}}{\text{nilai kalor bahan baku}} \times 100$ , dan Rasio Manfaat Energi (EBR, %) diperoleh sebagai  $\frac{\text{energi produk}}{\text{energi yang dikonsumsi}} \times 100$ , masing-masing, dalam hal energi untuk hasil yang maksimal dari setiap produk. Karena tidak ada perbedaan besar untuk semua operasi, kondisi yang optimal ditentukan oleh kualitas, penggunaan, biaya, dan sebagainya untuk arang dan minyak.

Tabel 4.4.1. Sistem pirolisis *Tech-Air*.

| Kasus           | Umpan [GJ] | Arang [GJ] | Gas tersedia <sup>1)</sup> [GJ] | Minyak [GJ] | Gas Pengering [GJ] | NTE [%] | EBR [-] |
|-----------------|------------|------------|---------------------------------|-------------|--------------------|---------|---------|
| Arang maksimum  | 9.18       | 4.54       | 1.72                            | 0.63        | 1.85               | 75      | 3.71    |
| Minyak maksimum | 9.18       | 2.85       | 1.84                            | 2.21        | 1.85               | 75.2    | 3.72    |
| Gas maksimum    | 9.18       | 3.48       | 2.16                            | 1.26        | 1.85               | 75.1    | 3.72    |

<sup>1)</sup> (Total gas yang dihasilkan) – (Gas pengering)

#### *4.4.5 Produk karbonisasi*

Di Jepang, arang banyak digunakan sebagai improver tanah, pakan ternak, pengatur kelembaban, dll dengan memanfaatkan kapasitas adsorpsi (yang disebut 'arang untuk penggunaan baru'), sebagai tambahan dari penggunaan sebagai bahan bakar padat untuk memasak dan pemanasan. Untuk produk cair, fraksi titik didih rendah, asam pyroligneous, ada di pasaran sebagai bahan pertanian, deodoran, dll. Sebaliknya, fraksi titik didih tinggi, tar, memiliki pemanfaatan yang terbatas, seperti kreosot sebagai obat. Dalam skala laboratorium, produksi perekat resin fenolik, pemulihan pengawet kayu, konversi menjadi karbon elektrokonduktif, dll telah dilaporkan. Penggunaan fraksi gas merupakan bahan bakar tambahan untuk proses.

#### *4.4.6 Status-quo teknologi*

Berbagai reaktor dengan skala dan bentuk yang berbeda telah dikembangkan sebagai respon dalam diversifikasi bahan, dan reaktor-reaktor tersebut dioperasikan secara komersial, walaupun sistem yang ada saat ini tidak terlalu berbeda dari yang sebelumnya. Karbonisasi kayu dengan katalis nikel pada 900°C, yang dilakukan dalam skala laboratorium untuk mendapatkan karbon fungsional dengan konduktivitas dan fase cairan adsorpsi yang sejalan dengan gas yang kaya hidrogen, telah menarik perhatian.

#### ***Informasi Lebih Lanjut***

Bridgwater, A. V.; Bridge, S. A.: "Biomass Pyrolysis Liquids Upgrading and Utilization", Bridgwater, A. V., Grassi G., Eds., Elsevier Applied Science, 1991, p. 22,

Lede, J. Reaction temperature of solid particles undergoing an endothermal volatilization. Application to the fast pyrolysis of biomass, *Biomass Bioenergy*, **7**, 49-60 (1994)

Pomeroy, C. F. "Biomass Conversion processes for Energy and Fuels", Sofer, S. S., Zaborsky, O. R. Eds., pp. 201-211, Plenum (1981)

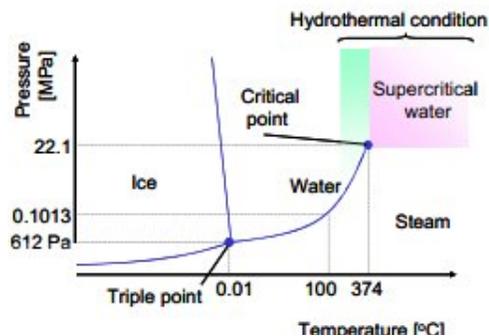
Suzuki, T.; Miyamoto, M.; Luo, W.-M.; Yamada, T.; Yoshida, T. in "Science in Thermal and Chemical Biomass Conversion", Vol. 2, Bridgwater, A. V.; Boocock, D. G. B., Eds., CPL Press, 2006, pp. 1580-1591

Suzuki, T.; Suzuki, K.; Takahashi, Y.; Okimoto, M.; Yamada, T.; Okazaki, N.; Shimizu, Y.; Fujiwara, M. Nickel-catalyzed carbonization of wood for coproduction of functional carbon and fluid fuels I., *J. Wood Sci.*, **53**, 54-60 (2007)

## 4.5 Gasifikasi hidrotermal

### 4.5.1 Apa itu gasifikasi hidrotermal?

Gasifikasi hidrotermal adalah perlakuan terhadap biomassa dalam air panas terkompresi, biasanya di atas 350°C dan di atas 20 MPa untuk mendapatkan gas yang mudah terbakar. Gambar 4.5.1 menunjukkan diagram fase air, di mana garis keseimbangan gas-cair dimulai dari titik tripel dan berakhir pada titik kritis. Kondisi hidrotermal terletak di sekitar titik kritis. Ketika suhu dan tekanan lebih



Gambar 4.5.1. Diagram fase air.

tinggi dari suhu kritis dan tekanan kritis, maka, keadaan itu disebut air superkritis, dan gasifikasi dalam air superkritis disebut "gasifikasi air superkritis". Air panas terkompresi ini memiliki reaktivitas tinggi, dan ketika biomassa ditempatkan dalam air ini, biomassa tersebut digasifikasi oleh reaksi-reaksi hidrolisis dan pirolisis.

### 4.5.2 Karakteristik gasifikasi hidrotermal

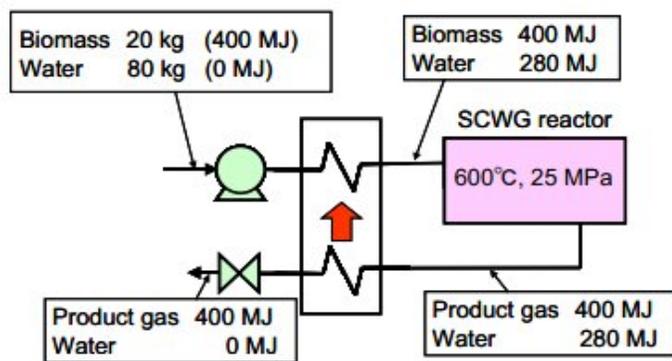
Gasifikasi hidrotermal cocok untuk perlakuan biomassa basah. Ketika biomassa basah akan digasifikasi, gasifikasi termokimia biasa tidak diterapkan karena kadar air yang tinggi. Gasifikasi hidrotermal, di sisi lain, menggunakan air sebagai media reaksi, dan dengan demikian biomassa basah dapat ditangani dengan lebih murah, dan tanpa pengeringan yang cukup memakan energi. Karena reaktivitas air tinggi di bawah kondisi ini, gasifikasi hidrotermal memungkinkan gasifikasi biomassa yang cepat dan hampir lengkap. Biometanasi digunakan untuk mendapatkan gas metana dari biomassa basah, tetapi biasanya hal tersebut membutuhkan beberapa minggu untuk menyelesaikan reaksi dan penanganan lumpur fermentasi yang tidak bereaksi dan air limbah bisa menjadi masalah besar. Waktu reaksi yang lama, selama beberapa minggu menghasilkan reaktor yang kamba. Lumpur fermentasi dapat dikonversi menjadi kompos, tetapi ketika lahan yang memadai tidak tersedia untuk penggunaan kompos, itu hanya menjadi limbah yang harus diolah. Dalam gasifikasi hidrotermal, reaksi paling lama selesai dalam beberapa menit, dan gasifikasi hampir lengkap memungkinkan ketika kondisi reaksi diatur dengan benar. Kadangkala, penambahan katalis seperti alkali, logam, atau katalis karbon dapat meningkatkan reaksi.

### 4.5.3 Reaktor untuk gasifikasi hidrotermal

Untuk menyelidiki reaksi yang terjadi dalam gasifikasi hidrotermal, reaktor tabung-bom dengan volume beberapa mL dan autoklaf sering digunakan. Namun, bila Anda ingin mengembangkan pabrik skala komersial, reaktor kontinu seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.5.2 adalah suatu keharusan. Biomassa diumpankan ke reaktor pada tekanan tinggi, dan kemudian dipanaskan sampai suhu reaksi. Di dalam reaktor, biomassa digasifikasi di bawah kondisi hidrotermal, dan efluen didinginkan ke suhu ruangan. Panas yang dilepaskan pada kondisi ini dipulihkan oleh penukar panas, dan digunakan untuk memanaskan bahan baku. Setelah mencapai suhu kamar, tekanan efluen diturunkan hingga tekanan atmosfer, dan produk gas dipulihkan. Reaktor kontinu diperlukan karena sejumlah besar panas dibutuhkan untuk mencapai kondisi hidrotermal. Panas ini kadang-kadang sesuai dengan panas dari pembakaran biomassa yang akan digasifikasi, dan oleh karena itu pemulihan panas menggunakan penukar panas diperlukan, hanya reaktor mengalir yang memungkinkan pemulihan panas ini. Dalam Gambar 4.5.2, keseimbangan panas untuk kasus yang ideal juga disajikan. Panas pembakaran biomassa dipertahankan dalam produk gas, sementara panas yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi hidrotermal dipulihkan kembali sehingga tidak ada panas yang ditambahkan dari luar selama proses operasi gasifikasi. Dalam prakteknya, efisiensi penukar panas tidak seragam, dan reaksi endotermik memunculkan kebutuhan akan pasokan panas tambahan ke reaktor.

### 4.5.4 Efisiensi energi dari gasifikasi hidrotermal

Untuk proses ideal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.5-2, efisiensi energi gasifikasi hidrotermal adalah kesatuan. Hal ini untuk diperhatikan karena kesalahpahaman bahwa energi efisiensi gasifikasi hidrotermal rendah dikarenakan sejumlah besar panas yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi hidrotermal.



Gambar 4.5.2. Keseimbangan panas gasifikasi hidrotermal.

Ketika pemulihan panas dibuat dengan benar, efisiensi energi yang tinggi adalah mungkin. Efisiensi energi lebih dari 70% termasuk listrik dan kehilangan panas pada penukar panas telah ditunjukkan oleh proses perhitungan detail.

#### 4.5.5 Produk dari gasifikasi hidrotermal

Produk gas secara otomatis dipisahkan dari fase cair ketika efluen dari reaktor didinginkan ke suhu ruangan. Gas yang bebas tar tersedia, yang mana ini merupakan suatu manfaat bila dibandingkan dengan gasifikasi termokimia biomassa biasa. Komponen utama adalah hidrogen, karbondioksida, dan metana. Karena hasil reaksi gas pergeseran-air berupa karbon monoksida dapat diabaikan. Suhu tinggi, tekanan rendah, dan bahan baku encer cenderung memiliki kandungan hidrogen yang tinggi. Nilai kalor dari produk gas tergantung pada kondisi reaksi, dan biasanya bervariasi dari 12 sampai 18 MJ/m<sup>3</sup>-N.

#### 4.5.6 Status-quo teknologi

Banyak laporan tentang adanya percobaan dengan reaktor skala laboratorium. Ada tiga pabrik percontohan yang beroperasi: Energia Co. pabrik di Jepang, VERENA Plant di Jerman, dan TEES Process di Amerika Serikat. Kapasitasnya mulai dari 1 sampai 2,4 t-basah/hari. Bahan baku yang diuji cukup banyak termasuk kotoran ayam, silase jagung, dan air dadih keju. Tidak ada pabrik komersial yang dibangun terutama karena biaya pabrik yang tinggi untuk saat ini.

#### ***Informasi Lebih Lanjut***

Antal, M. J., Jr.; Allen, S. G.; Schulman, D.; Xu, X. D.; Divilio, R. J. Biomass gasification in supercritical water, *Ind. Eng. Chem. Res.*, **39**, 4040-4053 (2000)

Elliott, D.C.; Hart, T.R.; Neuenschwander, G.G. Chemical Processing in High-Pressure Aqueous Environments. 8. Improved Catalysts for Hydrothermal Gasification, *Ind. Eng. Chem. Res.*, **45**, 3776-3781 (2006)

Kruse, A.; Henningsen, T.; Sinag, A.; Pfeiffer, J. Biomass gasification in supercritical water: Influence of the dry matter content and the formation of phenols, *Ind. Eng. Chem. Res.*, **42**, 3711-3717(2003) Matsumura, Y.; Minowa, T.; Potic, B.; Kersten, S. R. A.; Prins, W.; van Swaaij, W. P. M.; van de Beld, B.; Elliott, D. C.; Neuenschwander, G. G.; Kruse, A.; Antal, M. J. Jr. Biomass gasification in near- and super-critical water: Status and prospects, *Biomass Bioenergy*, **29**, 269-292 (2005)

Xu, X.; Matsumura, Y.; Stenberg, J.; Antal, M. J., Jr. Carbon-catalyzed gasification of organic feedstocks in supercritical water, *Ind. Eng. Chem. Res.*, **35**, 2522-2530(1996)

Yu, D.; Aihara, M.; Antal, M.J., Jr. Hydrogen production by steam reforming glucose in supercritical water, *Energy Fuels*, **7**, 574-577 (1993)

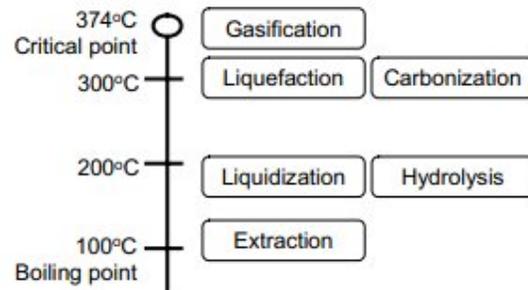
## 4.6 Pencairan hidrotermal

### 4.6.1 Apa itu pencairan hidrotermal?

Pencairan hidrotermal adalah pirolisis dalam air panas terkompresi sekitar 300°C dan 10 MPa. Biomassa dikonversi menjadi gas, cair dan padat, seperti pirolisis secara umum dalam fase gas. Tar fraksi ringan, seperti pyroligneous, dapat larut dalam air, dan fraksi berat tar dapat diperoleh dalam pencampuran dengan arang. Artinya, produk-produk yang dihasilkan adalah gas, cairan, dan bahan berminyak.

### 4.6.2 Karakteristik pencairan hidrotermal

Karena pencairan hidrotermal berlangsung di dalam air, maka tidak diperlukan proses pengeringan bahan baku. Oleh karena itu, sangat cocok untuk biomassa yang memiliki kelembaban tinggi, seperti biomassa dari daerah berair, sampah, lumpur organik, dan sebagainya. Selain itu, berbagai jenis reaksi dapat terjadi pada suhu reaksi yang berbeda, dan banyak aplikasi lain yang memungkinkan. Gambar 4.6.1

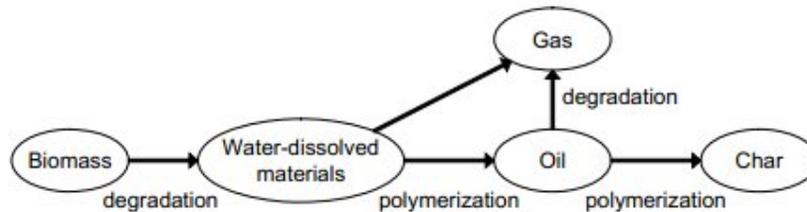


Gambar 4.6.1. Reaksi yang terjadi dalam air terkompresi panas.

menunjukkan reaksi yang terjadi dalam air panas terkompresi. Pada sekitar 100°C, fraksi larut air terlarutkan, dan ekstraksi berlangsung. Di atas 150°C, terjadi hidrolisis, dan polimer biomassa, seperti selulosa, hemiselulosa, protein, dan sebagainya, terdegradasi menjadi monomer. Pada sekitar 200°C dan 1 MPa, bahan padat seperti biomassa diubah menjadi bubur (liquidisasi), tetapi tidak diperoleh produk berminyak. Pada kondisi sekitar 300°C dan 10 MPa, pencairan terjadi, dan produk berminyak diperoleh. Ketika kondisi reaksi berubah seperti waktu reaksi atau katalis, produk utama dapat diubah menjadi arang (karbonisasi hidrotermal). Pada kisaran titik kritis dan dengan katalis, biomassa dapat digasifikasi (lihat Bab 4.5).

### 4.6.3 Skema reaksi pencairan hidrotermal

Pada dasarnya, pencairan hidrotermal adalah pirolisis, dan oleh karena itu degradasi dan polimerisasi terjadi. Skema reaksi sederhana ditunjukkan pada Gambar 4.6.2. Pada tahap pertama, biomassa dapat terdegradasi menjadi bahan larut air. Kemudian bahan larut air dipolimerisasi untuk membentuk minyak. Ketika reaksi diperpanjang, minyak yang terbentuk dipolimerisasi menjadi char.



Gambar 4.6.2. Skema reaksi pencairan sederhana.

### 4.6.4 Produk minyak dari pencairan hidrotermal

Sifat minyak yang diperoleh dengan pencairan ditunjukkan pada Tabel 4.6.1. Reaksi dilakukan tanpa mengurangi gas, seperti hidrogen dan karbon monoksida, dan dengan katalis alkali untuk kayu dan tanpa katalis untuk limbah lumpur. Minyak yang diperoleh memiliki kandungan oksigen sekitar 20%

berat, dan oleh karena itu, nilai kalor tertingginya lebih rendah dari (sekitar 42 MJ/kg) minyak berat dari minyak bumi. Selain itu, viskositasnya sangat tinggi. Minyak yang diperoleh dari kayu memiliki fraksi asam dalam jumlah banyak, dan dapat menimbulkan korosi dan

Tabel 4.6.1. Sifat minyak yang diperoleh dari pencairan.

| Biomass                      | Wood              | Sewage sludge                     |
|------------------------------|-------------------|-----------------------------------|
| Elemental composition [wt%]  |                   |                                   |
| Carbon                       | 72                | 71                                |
| Hydrogen                     | 6                 | 9                                 |
| Nitrogen                     | -                 | 6                                 |
| Oxygen                       | 22                | 16                                |
| H/C                          | 1.00              | 1.52                              |
| Higher heating value [MJ/kg] | 29 - 30           | 33 - 34                           |
| Viscosity [mPa.s]            | > 10 <sup>8</sup> | 10 <sup>3</sup> - 10 <sup>4</sup> |

polimerisasi selama penyimpanan. Di sisi lain, minyak yang diperoleh dari lumpur limbah memiliki nitrogen yang berasal dari protein, dan perlakuan NO<sub>x</sub> diperlukan pada pembakarannya. Sebagai fraksi kimia, turunan piridin, turunan pirazin, dan senyawa amida terdeteksi. Jika komponen-komponen tersebut dapat terpisah, komponen-komponen tersebut dapat digunakan sebagai bahan kimia.

#### *4.6.5 Efisiensi energi pencairan hidrotermal*

Energi yang dihasilkan (= kalori dalam minyak yang diperoleh / kalori dalam bahan baku biomassa) adalah sekitar 70%. Untuk efisiensi energi dari proses pencairan hidrotermal, kalori efektif dari minyak yang diperoleh hampir seimbang atau sedikit lebih banyak dengan energi yang dibutuhkan untuk pemanasan biomassa bahan baku dari suhu kamar ke suhu reaksi. Kandungan kelembaban kuat mempengaruhi, dan di bawah sekitar 85% dari kadar air, hal tersebut diperkirakan bahwa proses tersebut dapat menghasilkan energi.

#### *4.6.6 Status-quo teknologi*

Ada banyak laporan pada skala laboratorium dan skala pilot dan tidak ada pabrik komersial telah dibangun. Tentang skala pilot R&D, Dinas Pertambangan AS telah mengembangkan proses PERC dan US DOE telah mengembangkan proses LBL pada tahun 1960 hingga 1970, NIRE dan Organo Co. di Jepang telah mengembangkan sebuah pabrik endapan limbah cair di sekitar tahun 1990, dan Biofuel Co. dan Shell Co. di Belanda telah mengembangkan proses HTU di tahun 2000-an.

#### ***Informasi Lebih Lanjut***

Appell, H. R., et al., Converting organic wastes to oil, *Bureau of Mines Report of Investigation*, 7560, (1971)

Dote, Y., et al., Analysis of oil derived from liquefaction of sewage sludge, *Fuel*, **71**, 1071-1073 (1992)

Ergun, S., Bench-scale studies of biomass liquefaction with prior hydrolysis, *U.S. DOE Report LBL-12543* (1982)

Goudriaan, F., et al., Thermal efficiency of the HTU-processes for biomass liquefaction, *Progress in Thermochemical Biomass Conversion*, 1312-1325 (2001)

Minowa, T., et al., Cellulose decomposition in hot-compressed water with alkali or nickel catalyst, *J. Supercritical Fluid*, **13**, 243-259 (1998)

Ogi, T., et al., Characterization of oil produced by the direct liquefaction of Japanese oak in an aqueous 2-propanol solvent system, *Biomass & Bioenergy*, **7**, 193-199 (1994)

Suzuki, A., et al., Oil production from sewage sludge by direct thermochemical liquefaction using a continuous reactor, *Gesuido Kyokaisi*, **27**, 104-112 (1990) (dalam bahasa Jepang)

## 4.7 Produksi Biodiesel

### 4.7.1 Apa itu produksi biodiesel?

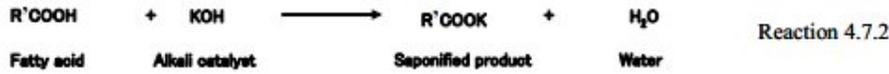
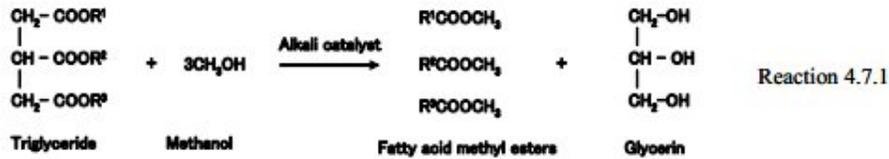
Dibandingkan dengan sumber biomassa lainnya, minyak dan lemak memiliki kapasitas panas yang tinggi, dan mayoritas keduanya berbentuk cair pada suhu ambang. Meskipun karakteristik ini lebih disukai untuk bahan bakar kendaraan, viskoelastisitas ( $> 30\text{mm}^2/\text{dtk}$  pada  $40^\circ\text{C}$ ) dan titik flash ( $> 300^\circ\text{C}$ ) sangat tinggi sehingga tidak dapat digunakan tanpa modifikasi. Oleh karena itu, dengan mentransesterifikasikan trigliserida dari minyak dan lemak, viskoelastisitas dan titik flash dikurangi masing-masing menjadi  $3\sim 5\text{mm}^2/\text{dtk}$  dan  $160^\circ\text{C}$  yang akan sesuai dengan jumlah angka setana dari 50-60 untuk menggantikan bahan bakar diesel. Metil ester asam lemak ini disebut bahan bakar biodiesel (BDF).

### 4.7.2 Karakteristik produksi biodiesel

Biodiesel memiliki kadar SO<sub>x</sub>, asap hitam dan bahan-bahan partikulat yang rendah, bila dibandingkan dengan diesel. Oleh karena itu, emisi yang dikeluarkan relatif bersih. Selain itu, ada keuntungan untuk menjaga keseimbangan karbon di bumi karena merupakan produk yang diturunkan dari biomassa. Selain itu, biodiesel mengandung oksigen dalam bentuk ester yang memiliki kapasitas panas 11% lebih rendah. Namun, karena daya pelumasan dan emisi asap yang kurang hitam, biodiesel hampir sebanding dengan diesel di performa mesin.

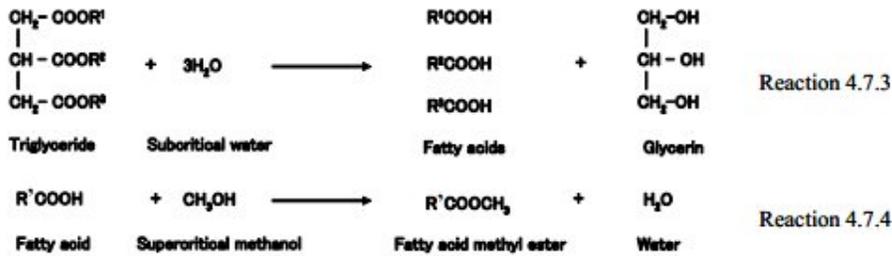
### 4.7.3 Reaktor untuk produksi biodiesel

Untuk produksi biodiesel, transesterifikasi diterapkan untuk minyak nabati (Reaksi 4.7.1) dimana trigliserida, ester dari gliserin dengan asam lemak, dan asam lemak bebas ada. Pada umumnya, minyak dicampur dengan metanol menggunakan katalis alkali seperti natrium hidroksida atau kalium hidroksida, dan campuran tersebut diaduk pada  $60\text{-}70^\circ\text{C}$  selama 1 jam. Setelah reaksi, bagian bawah dan atas dipisahkan berdasarkan fase dengan gliserin di bagian bawah dan produk yang teresterkan di bagian atas yang kemudian dicuci dan menjadi metil ester asam lemak atau biodiesel. Karena asam lemak bebas terkandung dalam limbah minyak, maka limbah tersebut dapat bereaksi dengan katalis untuk menghasilkan produk tersabunkan (Reaksi 4.7.2), sehingga mengurangi hasil biodiesel.

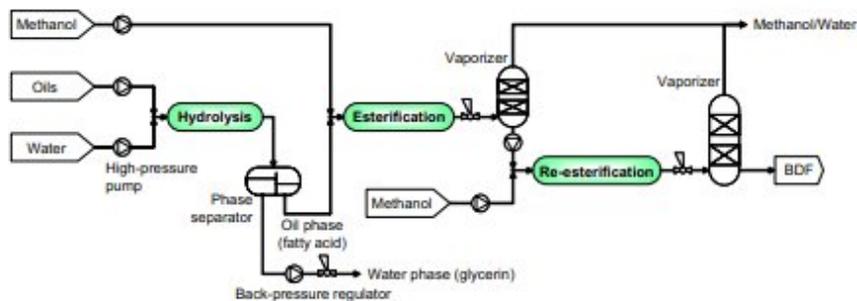


R<sup>1</sup>, R<sup>2</sup>, R<sup>3</sup>, R<sup>i</sup>: Hydrocarbon residues

Karena kelemahan dari metode katalis alkali tersebut, dilaporkan bahwa asam lemak bebas adalah yang pertama diesterifikasi oleh katalis asam, diikuti dengan metode katalis alkali. Dan untuk metode non-katalitik, metode katalis resin tukar ion, metode katalis lipase dan metode metanol superkritis diusulkan. Selain itu, untuk meningkatkan efisiensi esterifikasi, metode dua-langkah metanol superkritis juga diusulkan dengan menghidrolisis trigliserida dengan air subkritis diikuti oleh esterifikasi asam lemak dengan metanol dalam keadaan superkritisnya (Reaksi 4.7.3 dan 4.7.4, Gambar. 4.7.1). Proses ini adalah satu-satunya cara untuk menangani limbah minyak kualitas rendah.



R<sup>1</sup>, R<sup>2</sup>, R<sup>3</sup>, R<sup>i</sup>: Hydrocarbon residues



Gambar 4.7.1. Proses superkritis metanol dua langkah yang mengadopsi tahap re-esterifikasi.

#### *4.7.4 Energi efisiensi dari produksi biodiesel*

Transesterifikasi dari trigliserida dan esterifikasi asam lemak keduanya merupakan reaksi eksoterm tetapi kapasitas panas mereka kecil. Dalam proses katalis alkali, energi untuk meningkatkan sistem ke 60-70°C, energi untuk metanol, dan energi untuk proses reaksi keseluruhan sangat penting. Selanjutnya, energi tambahan diperlukan setelah reaksi untuk memurnikan gliserin sebagai produk samping. Dalam produksi biodiesel dengan kapasitas 2,2 kg/s (70.000 ton/tahun), efisiensi energi dilaporkan sebesar 62% pada basis nilai pemanasan yang lebih tinggi.

#### *4.7.5 Status-quo teknologi*

Produksi biodiesel telah dikembangkan secara komersial di Eropa dan Amerika Utara, dan produksinya terutama berdasarkan metode katalis alkali. Namun, untuk limbah minyak kualitas rendah, kombinasi proses dengan katalis asam telah dikembangkan dengan teknologi mereka sendiri yang tidak diungkapkan. Karena jumlah bahan baku yang terbatas di Jepang, pengembangan teknologi baru diharapkan dapat menangani limbah minyak kualitas rendah untuk dikonversi menjadi biodiesel berkualitas tinggi.

#### ***Informasi Lebih Lanjut***

Ban, K.; Kaieda, M.; Matsumoto, T.; Kondo, A.; Fukuda, H. Whole cell biocatalyst for biodiesel fuel production utilizing *rhizopus oryzae* cells immobilized within Biomass Support Particles, *Biochem Eng J*, **8**, 39-43 (2001)

Boocock D.G. Biodiesel fuel from waste fats and oils: A process for converting fatty acids and triglycerides, Proc. of Kyoto Univ Int'l Symp. on Post-Petrofuels in the 21st Century, Prospects in the Future of Biomass Energy, Montreal, Canada, 171-177 (2002)

Kusdiana, D.; Saka, S. Two-step preparation for catalyst-free biodiesel fuel production; hydrolysis and methyl esterification, *Appl. Biochem. Biotechnol.*, **115**, 781-791 (2004)

Mittelbach, M.; Remschmidt, C. Biodiesel, The comprehensive handbook, Boersdruck Ges. m.b.H, Vienna, Austria, 1-332 (2004)

Saka, S. "All about Biodiesel", IPC Publisher, 2006, pp.1-461 (dalam bahasa Jepang)

Sekiguchi, S. in "Biomass Handbook", Japan Institute of Energy Ed., Ohm-sha, 2002, pp.138-143 (dalam bahasa Jepang)

# Bab 5. Konversi Biokimia Biomassa

## 5.1 Biometanasi

### 5.1.1 Apa itu biometanasi?

"Fermentasi metana" atau "pencernaan anaerobik" biasanya digunakan untuk menunjukkan "biometanasi". Biometanasi adalah proses mikroba yang kompleks dimana senyawa organik terdegradasi menjadi metana dan karbon dioksida oleh berbagai anaerob. Biogas ini memiliki nilai kalor rendah 20-25 MJ/m<sup>3</sup>-N (5.000~6.000 kcal/m<sup>3</sup>-N) dan dapat digunakan untuk bahan bakar setelah desulfurisasi hidrogen sulfida. Biometanasi digunakan sebagai teknik pemulihan biofuel dari biomassa dan perlakuan limbah biomassa. Limbah fermentasi dapat digunakan untuk pupuk cair dan bahan baku kompos.

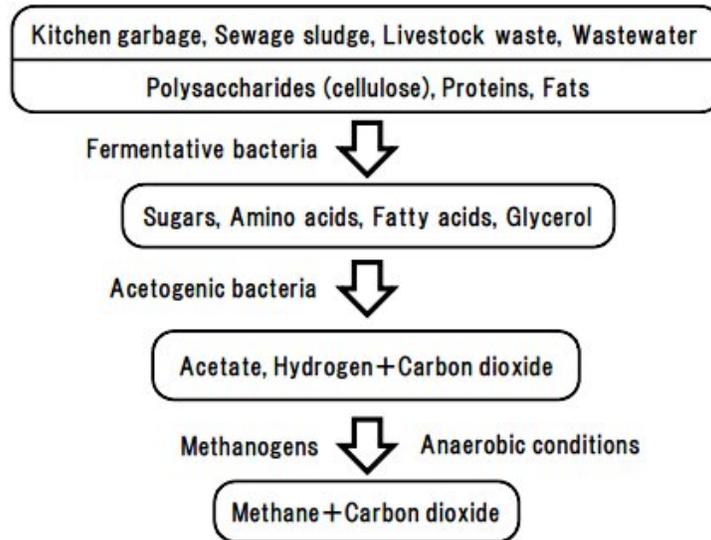
### 5.1.2 Ciri biometanasi

Pertama-tama, senyawa organik yang membusuk menjadi asam organik atau hidrogen dengan berbagai bakteri anaerob. Pada tahap akhir, asetat atau hidrogen dan karbon dioksida diubah menjadi metana. Biometanasi terjadi di bawah kondisi anaerobik, terutama, metanogen membutuhkan kondisi anaerobik mutlak untuk produksi metana. Biometanasi adalah proses mikrobiologis, karena itu, proses ini berlangsung di bawah suhu dan tekanan normal. Biometanasi dapat diterapkan untuk berbagai biomassa dibandingkan dengan fermentasi etanol karena kegiatan mikroflora kompleks.

### 5.1.3 Mekanisme biometanasi

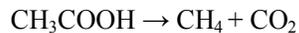
Ketika senyawa organik dipertahankan pada 50-70°C dan pH netral di bawah kondisi anaerobik, biometanasi secara spontan akan terjadi. Biogas sering dihasilkan dari bawah tanah TPA. Sampah dapur dan lumpur limbah telah digunakan sebagai substrat dari biometanasi. Limbah organik dari pabrik makanan yang mengandung gula dan pati juga telah digunakan sebagai substrat untuk biometanasi.

Biometanasi terdiri atas hidrolisis, asetogenesis dan metanogenesis. Gambar 5.1.1 menunjukkan garis besar biometanasi.

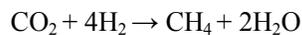


Gambar 5.1.1 Diagram skema biometanasi.

Polisakarida didekomposisi menjadi gula tunggal, protein menjadi asam amino, dan lemak menjadi asam lemak dan gliserol. Bakteri fermentasi contohnya adalah *Bacteroides spp.* dan *Clostridium spp.* Gula dan asam amino terdekomposisi menjadi asetat dan propionat oleh asidogens. Akhirnya, metanogen mengonversi asetat atau hidrogen dan karbon dioksida menjadi metana. Asidogenesis adalah proses yang kompleks dimana mikroflora anaerob bersama-sama mengurai senyawa organik menjadi asam organik molekul rendah. Asetat, laktat, suksinat, etanol, butanol, aseton dan sebagainya dapat diproduksi dari glukosa oleh asidogens. Dalam pengolahan air limbah, 70% metana dihasilkan dari asetat, dan 30% dihasilkan dari hidrogen dan karbon dioksida. Formula reaksi asetoklasik adalah sebagai berikut;



Formula reaksi hydrogenotropik adalah sebagai berikut;

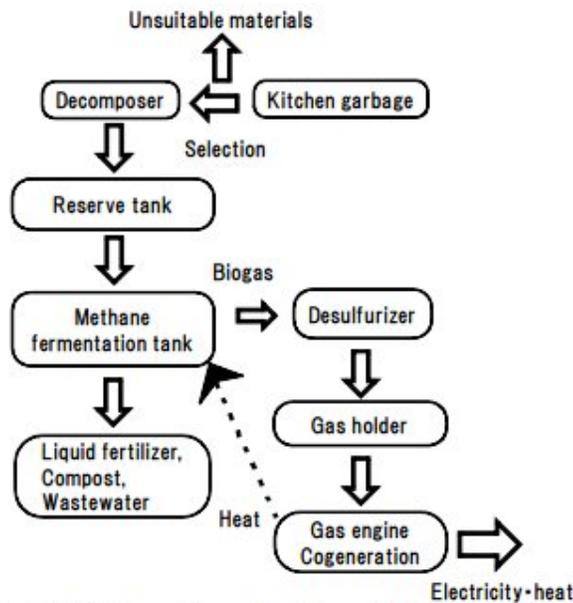


Metanogen merupakan anaerob yang dapat tumbuh dengan menggunakan asetat atau hidrogen dan dapat menghasilkan metana. Perwakilan metanogen diantaranya *Methanobacter spp.* dan *Methanosaeta spp.*

Metanogen bisa terbunuh oleh paparan oksigen, karena itu, pembentukan metana wajib membutuhkan kondisi anaerob. Analisis filogenetik menunjukkan bahwa metanogen ditempatkan dalam kelompok Archaea, dibedakan dari eukariota dan prokariota. Metanogen hanya dapat menggunakan hidrogen, format, asetat, 2-propanol, 2-buthanol, metilamin, metanol, metilmerkaptan untuk menghasilkan metana.

### 5.1.4 Status terkini

Biometanasi dikomersialisasikan untuk limbah makanan, limbah ternak, limbah lumpur, dan air limbah. Negara-negara Eropa telah mengembangkan teknologi biometanasi. Tanaman biogas telah secara bertahap meningkat di Jepang. Reaksi berlangsung pada suhu fermentasi yang tinggi, sedang, atau rendah, dan kadar organik mengklasifikasikan biometanasi dalam fermentasi basah dan kering. Sistem suhu tinggi mengungkapkan kinerja gasifikasi tinggi dibandingkan dengan suhu lainnya. Poin yang merugikan dari biometanasi adalah pencernaan rasio yang rendah, rasio penghilangan amonium dan fosfat yang rendah, waktu perlakuan yang lama, dan kebutuhan akan panas. Fermentasi limbah dan residu harus didaur ulang untuk pertanian sebagai pupuk organik karena biaya perlakuan yang tinggi. Perkembangan teknologi sedang dilakukan untuk mengatasi masalah ini.



Gambar 5.1.2 Aliran biometanasi sampah dapur.

### ***Informasi Lebih Lanjut***

Ahring, B. K., "Biometanasi I", Springer, (2003)

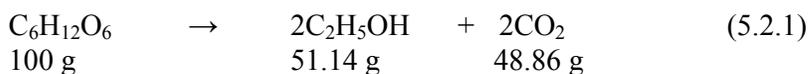
Nagai, S.; Ueki, K., "Anaerobic microbiology", Youkenndou, (1993) (dalam bahasa Jepang)

Speece, R. E., "Anaerobic biotechnology for industrial wastewaters", Archae Pr, (1996)

## **5.2 Fermentasi Etanol**

### ***5.2.1 Lingkup umum***

Dalam fermentasi etanol bahan sakarin seperti glukosa, fruktosa, dan sukrosa dimetabolisme oleh strain ragi melalui jalur glikolisis (Embden-Meyerhof Pathway) untuk menghasilkan etanol dan karbon dioksida pada kondisi anaerob (Persamaan (5.2.1)). Dalam reaksi ini dua molekul ATP dihasilkan dari satu molekul glukosa dan digunakan sebagai energi untuk pertumbuhan sel-sel ragi. Umat manusia telah lama mengenal dan memanfaatkan fermentasi etanol untuk pembuatan minuman beralkohol, pembuatan makanan fermentasi, roti dan sebagainya selama ribuan tahun. Pada periode abad pertengahan, orang datang untuk mengetahui bagaimana cara menyuling minuman keras. Etanol menjadi tersedia di bidang industri kimia, minuman dan industri makanan, penggunaan medis, serta bahan bakar, sejak kemajuan besar dicapai dengan teknologi fermentasi dan distilasi pada abad ke 19-20-an. Sejumlah besar bahan bakar etanol telah diproduksi dari jagung di Amerika Serikat dan dari tebu di Brazil untuk tujuan sebagai bahan bakar alternatif untuk bahan bakar fosil dan untuk mencegah pemanasan global, terutama setelah dua kali krisis minyak di tahun 1970-an. Penelitian dan pengembangan ekstensif sedang berlangsung di dunia teknologi untuk produksi etanol dari berbagai bahan selulosa yang tersedia dalam jumlah besar dan tidak bersaing dengan pemanfaatan sebagai makanan.



Fermentasi etanol adalah reaksi biologis pada suhu kamar dan pada tekanan atmosfer. *Saccharomyces cerevisiae* adalah ragi yang banyak digunakan untuk industri dan produksi bahan bakar etanol, dan memiliki kemampuan yang sangat baik dalam fermentasi etanol dan toleransi terhadap etanol. Strain ragi menghasilkan 51,14 g etanol dari 100 g glukosa menurut

persamaan (5.2.1). Dalam reaksi ini hampir 50% berat glukosa hilang sebagai karbon dioksida, tetapi sekitar 91% dari energi yang terkandung dalam glukosa (2,872 MJ/mol) dipertahankan dalam etanol. Oleh karena itu, fermentasi etanol adalah proses biologis yang sangat baik untuk mengonversi biomassa menjadi bahan bakar etanol. Sel-sel ragi pertama kali diisolasi dari biakan murni bir pada tahun 1883 di Denmark dan banyak pekerjaan yang dilakukan pada jalur metabolisme mereka saat fermentasi etanol. *S. cerevisiae* dapat memfermentasi gula termasuk glukosa, fruktosa, galaktosa, manosa, sukrosa, maltosa, kecuali pentosa seperti xilosa dan arabinosa. *Pichia stipitis* dan *Pachysolen tannophilus* dikenal sebagai ragi yang mampu memfermentasi pentosa, tetapi mereka tidak begitu toleran terhadap etanol seperti *S. cerevisiae*. Penelitian untuk perbaikan strain untuk membangun strain *S. cerevisiae* memiliki kemampuan untuk memfermentasi pentosa sedang banyak dilakukan di berbagai laboratorium.

Selain *S. cerevisiae*, *Zymomomas mobilis* adalah bakteri yang sangat baik untuk memfermentasi berbagai gula seperti glukosa, fruktosa dan sukrosa menjadi etanol. Hasil fermentasi dan tingkat fermentasi *Z. mobilis* seharusnya lebih baik daripada ragi *S. cerevisiae*, namun *Z. mobilis* tidak begitu toleran terhadap etanol sebagaimana *S. cerevisiae*. *Zymobacter palmae*, yang diisolasi pada tahun 1980 di Jepang, memiliki kemampuan fermentasi etanol sama dengan *Z. mobilis* dan urutan genom dasarnya telah ditemukan baru-baru ini. Peningkatan strain dari *Z. mobilis* dan *Z. Palmae* tentang fermentasi pentosa dan manosa telah berhasil dibuat di Jepang. Pentosa terkandung pada konsentrasi yang relatif tinggi dalam kayu keras dan tanaman herba, dan manosa adalah komponen karakteristik dari kayu lunak.

Strain DNA rekombinan dari *Escherichia coli* dan *Corynebacterium glutamicum* memiliki kemampuan fermentasi etanol telah dikembangkan melalui bioteknologi. Bakteri fermentasi etanol lainnya seperti bakteri asam hetero-laktat (*Lactobacillus*), bacteria pendegradasi selulosa, *Clostridium*, dan bakteri anaerob termofilik *Thermoanaerobacter* sejauh ini telah dikenal, tetapi mereka dapat menghasilkan etanol pada konsentrasi yang relatif rendah dan dengan produk sampingan seperti asam organik. Oleh karena itu, bakteri ini dianggap sulit untuk penggunaan di industri setidaknya untuk saat ini.

### 5.2.2 *Fermentasi etanol untuk bahan-bahan sakarin*

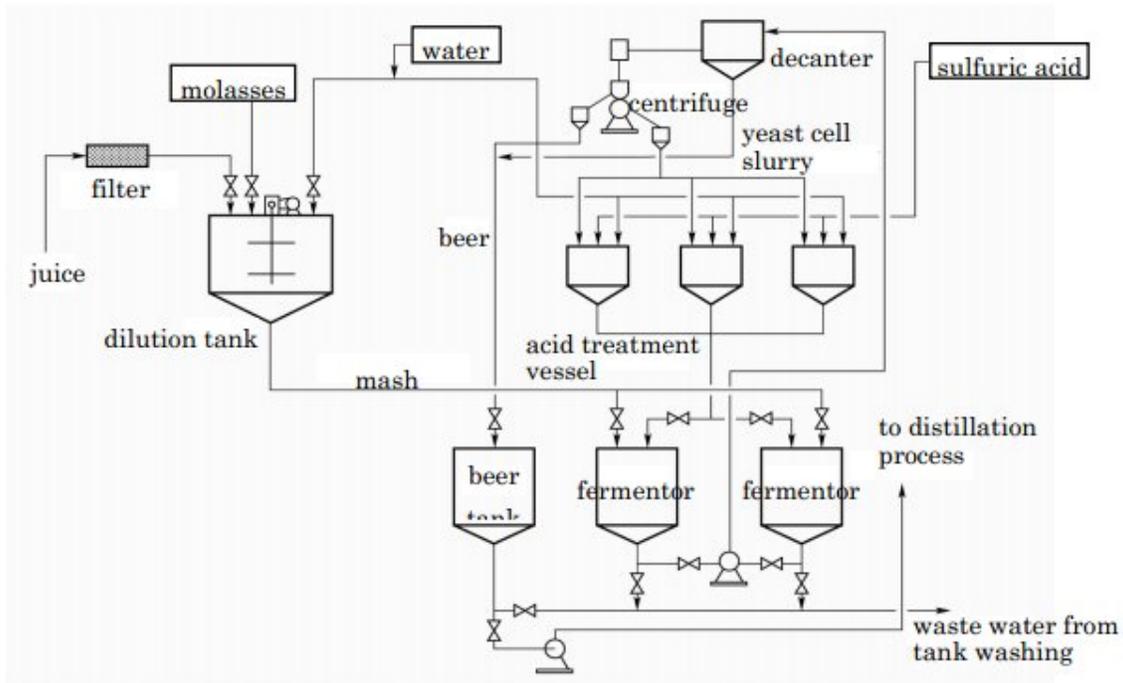
Bahan-bahan sakarin yang digunakan untuk produksi etanol pada skala besar adalah jus dan molase dari tebu dan gula bit. Molase adalah produk sampingan yang berupa biang cair terkonsentrasi setelah kristalisasi gula. Konsentrasi gula dari molase adalah sekitar 50% dan mengandung glukosa, fruktosa dan sukrosa sebagai komponen gula utama. Bahan-bahan sakarin ini adalah substrat yang baik untuk fermentasi etanol oleh ragi dan *Zymomonas*. Banyak jus tebu digunakan untuk produksi etanol di Brazil dan India.

Proses fermentasi etanol yang populer di Brazil adalah fermentasi kontinyu atau semi-kontinyu yang disebut proses Melle-Boinot dimana sel-sel ragi dipulihkan dari bir melalui sentrifus dan didaur ulang ke tangki fermentasi setelah sterilisasi dari kontaminasi bakteri dengan asam sulfat encer pada pH 3. Fermentasi etanol pada konsentrasi sel ragi yang tinggi dapat membuat bir yang mengandung etanol dari 6 sampai 8% dari sari tebu (konsentrasi gula 11-17%) dalam waktu sekitar 15 jam periode fermentasi. Molase digunakan untuk fermentasi setelah dua kali pengenceran atau pencampuran dengan jus tebu atau jus bit.

Ketika hasil fermentasi adalah 82% (berdasarkan gula total), dan konsentrasi gula molase adalah 55%, jumlah molase yang diperlukan untuk menghasilkan 1 m<sup>3</sup> (kL) etanol 95% adalah 3,3 t-basah.

Bahan-bahan sakarin yang unik adalah whey susu dan molase jeruk. Dalam industri susu Selandia Baru, misalnya, sejumlah besar whey susu yang mengandung sekitar 4% laktosa dibuang. Mereka menggunakan limbah whey untuk fermentasi etanol untuk memulihkan nilai tambah produk sampingan dan untuk mengurangi BOD.

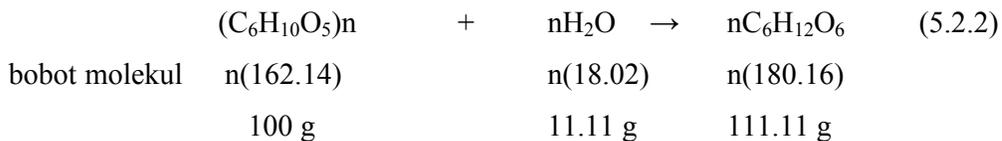
Sejumlah besar kulit jeruk dibuang dalam pembuatan jus jeruk. Jus sekunder dari kulit jeruk mengandung sekitar 8% gula dan komponen pahit terkonsentrasi pada molase jeruk dan konsentrasi gula lebih dari 40% untuk produksi etanol.



Gambar 5.2.1 Fermentasi etanol melalui proses Melle-Boinot (Saiki, 2007).

### 5.2.3 Fermentasi etanol dari pati

Pati merupakan polimer dari glukosa di mana unit glukosa terhubung satu sama lain melalui ikatan  $\alpha$ -1,4 dan  $\alpha$ -1,6. Bahan bertepung pertama-tama dihidrolisis menjadi glukosa dengan menggunakan enzim amilase (Persamaan (5.2.2)).



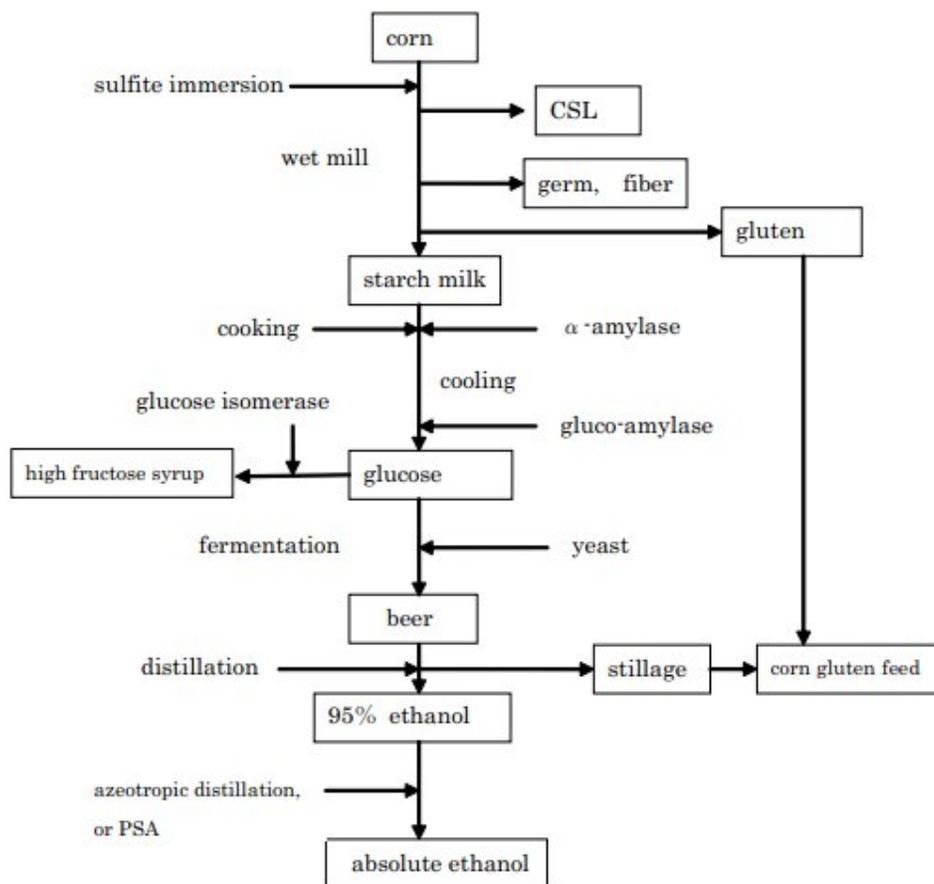
Bahan bertepung pertama-tama dimasak pada suhu antara 100 dan 130°C dan kemudian dihidrolisis menjadi glukosa dengan menggunakan  $\alpha$ -amilase dan gluco-amilase.

Sejumlah besar etanol diproduksi dari jagung di Amerika Serikat dan dari ubi jalar di Cina.

Prosedur memasak dengan suhu rendah untuk produksi etanol dari ubi jalar yang ada di Jepang sampai tahun 1990 dijelaskan di bawah ini. Ubi jalar mentah ini pertama dihancurkan oleh hammer-mill dimasak pada 80-90°C selama 60 menit, ditambah dengan  $\alpha$ -amilase untuk

mencairkan pati dan untuk mengurangi viskositas, dan kemudian didinginkan sampai suhu sekitar 58°C. Pati cair dihidrolisis menjadi glukosa dihidrolisis selama dua jam oleh gluko-amilase. Konsentrasi Glukosa bubur disesuaikan di sekitar 15%. Bir fermentasi dengan etanol sekitar 8% vol diperoleh setelah empat hari fermentasi secara batch pada 30-34°C. Ketika nilai pati ubi jalar sebesar 24,3% (27% setara glukosa), dan hasil fermentasi sebesar 92%, jumlah ubi jalar yang dibutuhkan untuk menghasilkan 1 m<sup>3</sup> (kL) etanol 95% adalah 6.03 t-basah.

Bahan bakar etanol di Amerika Serikat sebagian besar diproduksi dari jagung. Dalam proses secara basah jagung direndam dalam larutan encer sulfit, difraksinasi menjadi pati, kecambah, gluten dan serat. Fraksi pati dihidrolisis menjadi glukosa oleh amilase setelah pemasakan dan kemudian difermentasi oleh ragi. Salah satu proses fermentasi yang populer adalah proses fermentasi kontinyu dengan beberapa tangki fermentasi yang terhubung secara seri dimana sel-sel ragi didaur ulang melalui mesin pemisah sehingga menghasilkan tingkat fermentasi yang tinggi. Proses batch tradisional juga dipraktikkan di beberapa pabrik ethanol. Konsentrasi akhir etanol dari bir fermentasi rata-rata antara 8 sampai 11 vol%. Proses basah konversi jagung menjadi etanol ditunjukkan pada Gambar 5.2.2. Ketika nilai pati sebesar 63% (70% setara glukosa), dan hasil fermentasi 90%, jumlah jagung yang diperlukan untuk menghasilkan 1 m<sup>3</sup> (kL) etanol 95% adalah sekitar 2,4 t-basah.



Gambar 5.2.2. Proses produksi etanol dan sirup berkadar fruktosa tinggi dari jagung. (Dimodifikasi dari (Elander, 1996)).

### 5.2.4 Fermentasi etanol dari lignoselulosa

Biomassa lignoselulosa umumnya terdiri atas selulosa, hemiselulosa dan lignin (Tabel 5.2.1). Sebelum fermentasi etanol, biomassa harus menjalani pra-perlakuan dengan asam atau basa, dan/atau dengan selulase agar terhidrolisa menjadi larutan gula.

Tabel 5.2.1. Komposisi dari berbagai biomasa (%)

|               | Selulosa | Hemiselulosa | Lignin |
|---------------|----------|--------------|--------|
| Kayu lunak    | 43       | 28           | 29     |
| Kayu keras    | 43       | 35           | 22     |
| Jerami padi   | 38       | 25           | 12     |
| Kertas kantor | 69       | 2            | 11     |

### **(a) Proses Asam sulfat pekat**

Proses dari Arkenol Co Ltd (AS) telah dimodifikasi dan ditingkatkan di proyek NEDO antara tahun 2001 dan 2005. Asam sulfat pekat disempatkan pada serpihan kayu (kelembaban sekitar 15%) yang kemudian dibuat adonan dengan baik pada suhu kamar. Selama pembuatan adonan, struktur dari selulosa menjadi tidak mengkristal. Konsentrasi asam sulfat kemudian disesuaikan pada 20 sampai 30% dengan menambahkan air, dan bahan kayu dibiarkan pada suhu sekitar 90°C selama 10 sampai 15 menit untuk hidrolisis. Setelah fraksi padat dikeluarkan melalui filtrasi, komponen gula dipisahkan dari asam pada kromatografi penukar ion. Larutan Gula yang mengandung heksosa dan pentosa difermentasi oleh ragi atau strain *Zymomonas* yang direkayasa genetika. Asam sulfat dikonsentrasikan lagi untuk penggunaan kembali.

### **(b) Proses Asam Sulfat Encer**

Fraksi hemiselulosa didegradasi menjadi gula yang terutama terdiri atas pentosa dan beberapa heksosa melalui perlakuan asam sulfat encer (0,5-1,0%) pada 150-180°C, dan sekitar 1 MPa (10 atm). Fraksi residu yang mengandung selulosa dan lignin diperlakukan lagi dengan konsentrasi yang sama dari asam encer tersebut pada 230-250°C dan pada 3-5 MPa (30-50 atm) untuk menghasilkan glukosa. Hasil gula dari perlakuan pertama dan kedua masing-masing dilaporkan sekitar 90% dan 50-60%. Di pabrik etanol "Bioetanol Jepang Kansai" (Osaka, Jepang), yang telah dioperasikan sejak Januari, 2007, larutan gula hanya dari fraksi hemiselulosa kayu dilaporkan dikonversi menjadi etanol melalui fermentasi oleh *E. coli* yang dimodifikasi secara genetik.

Di Amerika Serikat, penelitian kelompok termasuk NREL telah ditantang untuk meningkatkan aktivitas selulase untuk keperluan industri dalam proses asam sulfat encer. Target mereka adalah, dilaporkan, untuk memulai produksi bioetanol dari biomassa seperti brangkasan jagung pada tahun 2013.

### ***Informasi Lebih Lanjut***

9<sup>th</sup> *Alcohol Handbook*, Japan Alcohol Association Ed., Gihodo Shuppan Co. Ltd, 1997

Elander, R. T.; Putsche, V/ L/, in *Handbook on Bioethanol*, Wyman, C. E. Ed., Taylor & Francis Pub. 1996, pp329-350

Saiki, T. in *Biomass Handbook*, Japan Institute of Energy Ed., Ohm-sha, 2002, pp157-165, (dalam bahasa Jepang)

Saiki, T.; Karaki, I.; Roy, K., in *CIGR Handbook of Agricultural Engineering*, Vol.V, *Energy and Biomass Engineering*, Kitani, O. Ed., American Society of Agricultural Engineers, 1999, pp139-164

Saiki, T., in *Bioethanol Production Technology*, Japan Alcohol Association Ed., Kogyochosakai 2007, pp75-101. (dalam bahasa Jepang)

Yamada, T., in *Bioethanol Production Technology*, Japan Alcohol Association Ed., Kogyochosakai 2007, pp102-126. (dalam Bahasa Jepang)

## 5.3 Fermentasi Aseton-Butanol

### 5.3.1 Apa itu fermentasi aseton-butanol?

Fermentasi aseton-butanol adalah reaksi dimana aseton dan butanol dihasilkan dari glukosa dengan menggunakan *Clostridium*, bakteri anaerobik ketat. Selanjutnya, etanol juga diproduksi. Oleh karena itu, fermentasi aseton-butanol juga disebut sebagai fermentasi ABE. *Clostridium* tersebar luas di tanah, dan mengeluarkan amilase, xilanase, protease dan lipase dari sel. Ada dua jenis strain yang digunakan dalam fermentasi aseton-butanol. Salah satunya adalah jenis Weizmann yang menghasilkan butanol dari pati, dan yang lainnya adalah jenis Saccaro yang menghasilkan butanol dari sukrosa.

### 5.3.2 Karakteristik fermentasi aseton-butanol

Fermentasi aseton-butanol memiliki sejarah panjang dan merupakan suatu teknologi industri. Fermentasi aseton-butanol digunakan untuk memproduksi aseton sebagai bahan baku bubuk tanpa asap dalam Perang Dunia I dan butanol untuk bahan bakar pesawat tempur dalam Perang Dunia II. Setelah Perang Dunia II, fermentasi aseton-butanol tidak lagi digunakan karena pengembangan kimia minyak bumi. Baru-baru ini, butanol ditinjau sebagai biofuel.

### 5.3.3 Reaksi fermentasi aseton-butanol

Strain bakteri yang digunakan untuk produksi industri butanol adalah bakteri penghasil aseton-butanol dan bakteri penghasil butanol-isopropanol yang menghasilkan butanol dan isopropanol, produk sebelum menjadi aseton. Jalur reaksi ditunjukkan pada Gambar 5.3.1. Glukosa didekomposisi menjadi piruvat, asetil-KoA, dan asetoasetil-KoA melalui jalur EMP,

dan akhirnya dihasilkan aseton, butanol, isopropanol dan etanol. Persamaan stokiometri fermentasi aseton-butanol ditampilkan dalam Persamaan 5.3.1.



Dalam fermentasi aseton-butanol, butanol secara bertahap terakumulasi dan menyebabkan penghambatan produksi di lebih dari 3 kg/m<sup>3</sup> (g/L) dari konsentrasi butanol. Ketika penghambatan produksi terjadi, pertumbuhan sel-sel bakteri, konsumsi substrat, dan akumulasi produk ditekan. Konsentrasi akhir butanol mencapai sekitar 30 kg/m<sup>3</sup> (g/L). Setelah fermentasi, larutan kultur disuling dan produk dipisahkan oleh perbedaan titik didihnya, misalnya aseton (TD 56,3°C), etanol (TD 78,3°C) dan butanol (TD 117°C).

#### *5.3.4 Efisiensi energi fermentasi aseton-butanol.*

Dari Persamaan. 5.3.1, dalam fermentasi aseton-butanol 60 mol butanol (170 MJ), 30 mol aseton (54 MJ), 10 mol etanol (14MJ) dan 120 mol hidrogen (34 MJ) dihasilkan dari 95 mol glukosa (273 MJ). Hampir semua energi dalam glukosa dapat dipindahkan kebutanol, aseton, etanol dan hidrogen.

#### *5.3.5 Produk fermentasi aseton-butanol*

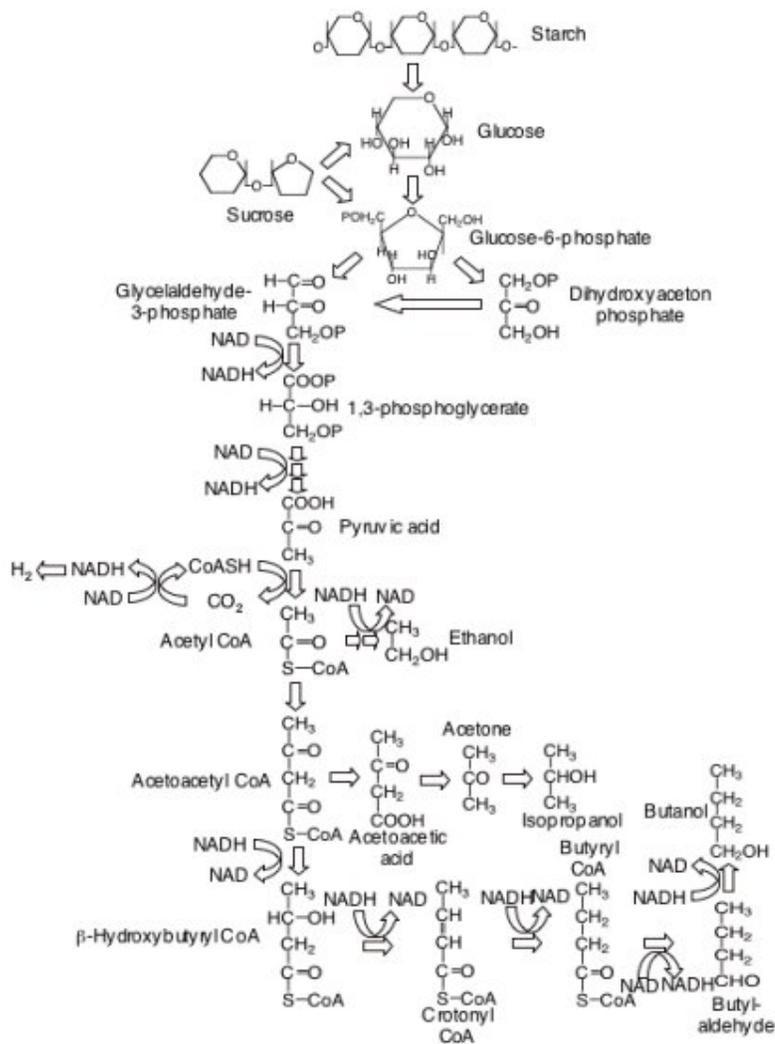
Fermentasi aseton-butanol diindustrialisasi untuk pasokan bahan baku bubuk tanpa asap dan pesawat tempur. Saat ini, aseton dan butanol disintesis di industri perminyakan. Biofuel, aditif bensin atau diesel terbaru sekarang mendapat banyak perhatian di seluruh dunia. Butanol dapat ditambahkan ke keduanya baik bensin maupun diesel dan memiliki afinitas lebih untuk bensin daripada etanol. Oleh karena itu, butanol akan menjadi biofuel yang menjanjikan.

### Informasi Lebih Lanjut

Crabbe, E.; N-Hipolito, C.; Kobayashi, G.; Sonomoto, K.; Ishizaki, A., Biodiesel production from crude palm oil and evaluation of butanal extraction and fuel properties, *Process Biochim.*, **37**, 65-71 (2001)

Ishizaki, A.; Michiwaki S.; Crabbe, E.; Kobayashi, G.; Sonomoto, K.; Yoshino, S., Extractive acetone-butanol-ethanol fermentation using methylated crude palm oil as extractant in batch culture of *Clostridium saccharoperbutyl acetonicum* N1-4 (ATCC13564), *J. Biosci, Bioeng.*, **87**, 352-356 (1999)

Lee, T. M.; Ishizaki, A.; Yoshino, S.; Furukawa, K., Production of acetone, butanol and ethanol from palm oil waste by N1-4, *Biotechnol. Letters*, **17**, 649-654 (1995)



Gambar 5.3.1. Jalur reaksi fermentasi aseton-butanol.

## 5.4 Fermentasi Hidrogen

### 5.4.1 Apa itu fermentasi hidrogen?

Fermentasi anaerobik adalah reaksi dimana mikroorganisme anaerobik secara oksidatif mengurai bahan organik untuk mendapatkan energi dalam kondisi anaerobik. Kita sebut reaksi fermentasi ini fermentasi hidrogen jika hidrogen adalah produk akhir proses. Dalam proses fermentasi hidrogen, beberapa bahan organik dan alkohol diproduksi bersama dengan hidrogen. Meskipun akseptor elektron terakhir adalah oksigen atau bahan anorganik dalam respirasi, bahan organik yang terurai dan karbon dioksida dll dari bahan substrat adalah produk akhir dalam fermentasi. Sebagai contoh, produk akhir adalah etanol dan karbon dioksida dari glukosa selama fermentasi etanol. Sementara sintesis ATP digabungkan dengan rantai transfer elektron dalam respirasi, ATP dihasilkan dalam reaksi pada tingkat substrat dalam fermentasi. Energi yang diperoleh dari fermentasi lebih kecil daripada yang dari respirasi untuk jumlah substrat yang sama.

### 5.4.2 Karakteristik fermentasi hidrogen

Peran dari produksi hidrogen adalah untuk mengatur tingkat oksidasi-reduksi dalam sel bakteri dengan mengubah kelebihan tenaga pengurangan menjadi hidrogen. Ada bakteri yang dapat mengambil dan memanfaatkan hidrogen tersebut. Dalam rangka meningkatkan hasil hidrogen, reaksi sebaliknya konsumsi hidrogen harus ditekan. Umumnya, diperlukan perlakuan air limbah dari proses fermentasi hidrogen, karena proses fermentasi hydrogen juga memproduksi beberapa bahan organik.

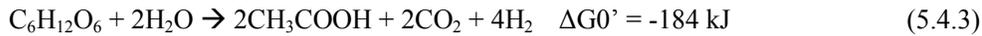
### 5.4.3 Reaksi fermentasi hidrogen

Bakteri penghasil hidrogen diklasifikasikan menjadi 2 jenis oleh perbedaan dalam reaksi enzim. Salah satunya adalah bakteri dengan hidrogenase, dan yang lainnya dengan nitrogenase.

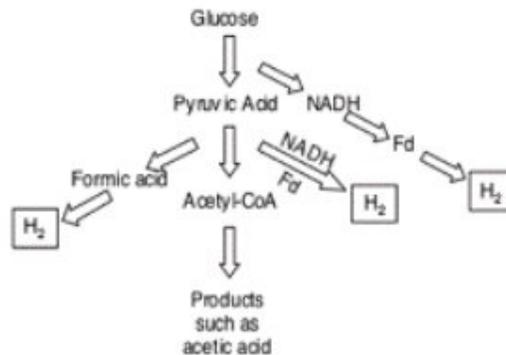


X: pembawa elektron, Pi: fosfat anorganik

Seperti ditunjukkan pada reaksi di atas, hidrogenase mengkatalisis reaksi kebalikan dari evolusi dan penyerapan hidrogen. Di sisi lain, reaksi oleh nitrogenase membutuhkan energi (ATP). Pada fermentasi anaerob, reaksi oleh hidrogenase utamanya diperiksa. Penggambaran reaksi fermentasi hidrogen adalah sebagai berikut:



Gambar 5.4.1 menunjukkan jalur fermentasi hidrogen. Hidrogen terbentuk dari hidrogenase baik melalui NADH dan ferredoxin, melalui ferredoxin saja, atau melalui format-liase. Dalam proses fermentasi hidrogen, hidrogen diproduksi dari dekomposisi oksidatif dari substrat organik. Oleh karena itu, fermentasi hidrogen digunakan dalam perlakuan limbah dan air limbah. Dalam kasus tersebut, perlakuan berikut seperti fermentasi metana atau metode lumpur aktif diperlukan, karena proses fermentasi hidrogen menyertai produksi asam organik. Laju reaksi fermentasi hidrogen cepat dibandingkan dengan fermentasi metana. Hal ini mungkin menjanjikan pada metode pra-perlakuan fermentasi metana.



Gambar 5.4.1. Jalur fermentasi hidrogen.

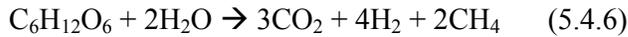
#### 5.4.4 Efisiensi energi fermentasi hidrogen

Karena proses fermentasi hidrogen menyertai produksi asam organik, perlu untuk mempertimbangkan gabungan sistem total dengan metode perlakuan berikutnya seperti fermentasi metana. Dalam proses fermentasi hidrogen, 4 mol hidrogen secara teoritis dihasilkan dari 1 mol glukosa (Persamaan (5.4.3)). Ketika kemudian membentuk asetat dan

digunakan untuk fermentasi metana dan diubah menjadi metana, reaksinya ditunjukkan sebagai berikut:



Reaksi total metana-hidrogen fermentasi dua-tahap ditunjukkan sebagai berikut:



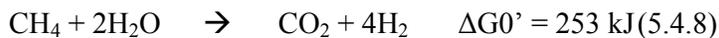
Jumlah nilai panas yang tinggi dari produk ini adalah 2,924 MJ (2924 kJ). Di sisi lain, pada fermentasi metana saja, reaksinya ditunjukkan sebagai berikut:



Nilai kalor tinggi produk dari Persamaan (5.4.7) adalah 2,671 MJ (2671 kJ). jelas terlihat dari hasil ini bahwa hasil energi dari fermentasi hidrogen-metana meningkat 10% dibandingkan dengan fermentasi metana saja.

### 5.4.5 *Produk fermentasi hidrogen*

Produk gas berevolusi dari fermentasi hidrogen dan metana mungkin dapat digunakan untuk bahan bakar sel yang memiliki efisiensi konversi energi yang lebih tinggi dibandingkan dengan turbin gas dan mesin gas. Metana dari fermentasi metana harus diubah menjadi hidrogen untuk bahan bakar sel.



Karena Persamaan 5.4.8 adalah reaksi endotermik, pasokan energi dibutuhkan untuk melanjutkan reaksi. Umumnya, gas metana diubah menjadi gas hidrogen dengan katalis nikel pada 650-750°C. Di sisi lain, dalam fermentasi hidrogen, hasil energi lebih tinggi dari fermentasi metana dan konversi katalitik dari metana tidak diperlukan untuk membuat gas hidrogen menjadi bahan bakar sel.

## ***Informasi Lebih Lanjut***

- Noike, T.; Mizuno, O., Hydrogen fermentation of organic municipal wastes, *Water Sci. Technol.*, **42**, 155-162(2000)
- Rachman, M. A.; Nakashimada, Y.; Kakizono, T.; Nishio, N., Hydrogen production with high yield and high evolution rate in a packed-bed reactor, *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **49**, 450-454(1998)
- Tanisho, S.; Tu, H.-P.; Wakao, N. Fermentative hydrogen evolution from various substrates by *Enterobacter aerogenes*, *Hakkokogaku*, **67**, 29-34(1989)
- Taguchi, F.; Yamada, K.; Hasegawa, K.; Taki-Saito, K.; Hara, K. Continuous hydrogen production by *Clostridium* sp. No.2. from cellulose hydrolysate in an aqueous two-phase system, *J. Ferment. Bioeng.*, **82**, 80-83(1996)
- Ueno, Y.; Otsuka, S.; Morimoto, M.; Hydrogen production from industrial waste-water by anaerobic microflora in chemostat culture, *J. Ferment. Bioeng.*, **82**, 194-197(1996)

## **5.5 Fermentasi Asam laktat**

### ***5.5.1 Apa itu fermentasi asam laktat?***

Asam laktat memiliki gugus alkohol (OH) dan karboksilat (COOH) di dalam molekulnya. Karena termasuk karbon kiral, maka memiliki dua isomer kiral, D-asam laktat dan L-asam laktat. Baru-baru ini, permintaan poli-laktat, plastik biomassa, meningkat, dan permintaan asam laktat juga meningkat sebagai bahan baku poli-laktat. Kemudian asam laktat dengan hampir 100% kemurnian optik sangat diperlukan. Umumnya, asam laktat diproduksi melalui sintesis kimia atau oleh fermentasi mikroba. Dalam sintesis kimia, biasanya digunakan metode yang menggunakan hidrolisis lakto-nitril, menghasilkan D-asam laktat dan L-asamlaktat setengah demi setengah dimana kemurnian optiknya nol. Jadi asam laktat untuk produksi poli-laktat selalu diproduksi melalui fermentasi. Asam laktat dapat dihasilkan baik oleh bakteri ataupun jamur. Di sini difokuskan pada fermentasi asam laktat dengan bakteri.

### ***5.5.2 Bakteri asam laktat***

Bakteri asam laktat memproduksi banyak asam laktat dari beberapa jenis gula. Mereka adalah gram positif tipe batang atau bakteri bulat yang dapat tumbuh di bawah kondisian aerobik. Mereka tidak menunjukkan mobilitas dan negatif pada reaksi katalitik. Mereka tidak membentuk spora. Mereka hanya menggunakan gula sebagai sumber energi untuk menghasilkan asam laktat, dan mengonversi lebih dari 50% dari gula yang dikonsumsi. Ada

empat kelompok dalam spesies bakteri yang dapat memenuhi kondisi yang disebutkan di atas: *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus*, dan *Streptococcus*. Bakteri asam laktat dapat tumbuh dengan tingkat pertumbuhan yang lebih tinggi dan menghasilkan asam laktat dengan produktivitas yang lebih tinggi. Karena mereka membutuhkan banyak nutrisi termasuk asam amino dan vitamin, Pembuatan komposisi cairan fermentasi tidaklah sederhana. Kita dapat mengklasifikasikan fermentasi asam laktat menjadi dua kelompok, fermentasi asam homo-laktat dan fermentasi asam hetero-laktat. Dalam fermentasi homo dua mol asam laktat dan dua mol ATP dapat dihasilkan dari satu mol mono-sakarida dengan hasil hampir 100% laktat. Di sisi lain, dalam fermentasi hetero, dihasilkan asam laktat dan senyawa lain; diklasifikasikan menjadi dua kelompok: 1) satu menghasilkan asam laktat, etanol dan karbon dioksida. 2) satu menghasilkan satu mol asam laktat dan 1,5 mol asam asetat dari satu mol mono-sakarida. Bakteri asam laktat memiliki kedua tipe D dan tipe L atau kedua jenis tipe D atau tipe L dari laktat dehidrogenase. Jadi D-asam laktat dan (atau) L-asam laktat dapat diproduksi oleh bakteri. Kebanyakan dari bakteri asam laktat memiliki enzim yang merasemat asam laktat yang dihasilkan, mempengaruhi kualitas kiral dari asam laktat. *Laktobasilus rhamnosus* hanya dapat menghasilkan L-asam laktat dengan hampir 100% kemurnian optik, yang digunakan sebagai bahan baku untuk produksi poli-laktat.

### *5.5.3 Sumber daya biomassa untuk fermentasi asam laktat*

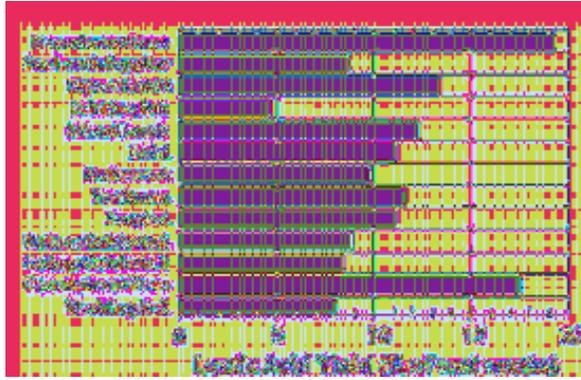
Glukosa merupakan substrat utama untuk fermentasi asam laktat, yang biasanya diperoleh dari hidrolisis pati. Pati sekarang diperoleh dari tanaman. Namun, kadang-kadang kita khawatir tentang persaingan antara energi atau bahan dan makanan, seperti diklaim pada produksi etanol dari sumber daya biomassa. Jadi biomassa selulosa lunak seperti sekam padi yang tidak digunakan saat ini diharapkan untuk bisa menjadi sumber daya biomassa. Bagaimanapun biomassa yang tidak digunakan seperti ini memiliki kualitas yang rendah dan itulah sebabnya sampai saat ini belum digunakan. Jadi beberapa kondisi harus dipertimbangkan untuk pemanfaatannya dalam fermentasi. Pertama, diperlukan pasokan yang konstan dan stabil dari biomassa. Selanjutnya, gula harus dapat diperoleh dengan mudah dengan energi sesedikit mungkin. Tentu saja, diperlukan teknologi yang lebih efektif dan canggih untuk fermentasi, dan terlebih lagi, penting juga untuk memecahkan masalah yang menyertai terkait dengan transportasi dan penyimpanan biomassa dalam hal energi, biaya, dll.

#### *5.5.4 Pemanfaatan biomassa yang tidak terpakai dari industri kelapa sawit*

Kelapa sawit adalah salah satu dari tiga minyak nabati utama di dunia. Kelapa sawit dapat dipanen sepanjang tahun hanya disekitar khatulistiwa. Dalam operasi pabrik untuk produksi minyak, lebih dari 10 Tg (Mt) biomassa yang tidak terpakai diperoleh sebagai produk samping seperti biasa. Karena pabrik-pabrik pengolahan kelapa sawit sangat besar, lebih dari beberapa puluh Gg (ribu ton) dari biomassa yang tidak terpakai yang seragam dapat dikumpulkan terus-menerus sepanjang tahun. Selain itu, baru-baru ini musim penanaman kembali pohon kelapa sawit tiba dan sejumlah besar batang kelapa sawit akan terbuang. Baru-baru ini, ditemukan bahwa ada banyak glukosa di dalam batang dan sirup glukosa dapat dengan mudah diperoleh dengan memerasnya seperti pada pengolahan tebu.

#### *5.5.5 Fermentasi asam laktat dari sampah dapur*

Jepang adalah negara yang sempit dan memiliki kepadatan penduduk yang tinggi. Itulah sebabnya kami tidak dapat menggunakan metode pembuangan yang sederhana untuk pengolahan sampah di Jepang. Jadi kita memiliki sekitar dua ribu tungku untuk membakar sampah. Setiap hari, sampah dikumpulkan di tungku dan dibakar untuk mendapatkan energi panas, yang sebagiannya digunakan untuk pembangkit listrik. Oleh karena itu, uap yang tidak terpakai dengan tekanan rendah tersedia. Sampah dapur terdiri dari 30% dari total sampah di Jepang. Terutama, sampah dapur dari sektor bisnis termasuk supermarket dan toko dapat dengan mudah dipisahkan dari yang lain. Sampah dapur Jepang dapat menjadi sumber yang baik untuk gula karena setengah dari padatan dalam sampah dapur terdiri dari pati, meskipun komposisi dari sampah dapur berubah setiap harinya. Jadi sampah dapur berisi berbagai nutrisi termasuk vitamin dan itu baik untuk fermentasi asam laktat. Gambar 5.5.1 menunjukkan hasil asam laktat dari sampah dapur dalam fermentasi asam laktat setelah perlakuan enzimatik dengan glukoamilase menggunakan *Lactobacillus rhamnosus*. Umumnya, sampah dapur mengandung kelembaban sebesar 80% dan menunjukkan bahwa sekitar 10% dari hasil asam laktat yang ditunjukkan pada gambar seharusnya cukup tinggi.



Gambar 5.5.1 Hasil asam laktat dari fermentasi asam laktat dari sampah dapur.

### *5.5.6 Pemurnian asam laktat*

Asam laktat untuk poli-laktat diminta untuk menjamin tidak hanya kemurnian optik cukup tinggi, tetapi juga kemurnian cukup tinggi sebagai asam laktat. Dalam fermentasi asam laktat, setiap kelas teknologi pemurnian yang lebih tinggi untuk menghasilkan asam laktat murni diperlukan karena cairan fermentasi mengandung berbagai komposisi. Biasanya teknologi distilasi diadopsi untuk tujuan ini: Dalam pemurnian asam laktat dari fermentasi sampah dapur, butil-laktat dipisahkan dengan distilasi setelah esterifikasi asam laktat dengan butanol. Selain itu, amonia dapat dipulihkan dalam reaksi esterifikasi, yang dapat digunakan lagi untuk penyesuaian pH dalam fermentasi. Namun, dalam proses ini lebih banyak energi akan diperlukan untuk menghilangkan air untuk mendorong reaksi esterifikasi. Ketika energi akan dipasok dari sumber daya fosil, maka secara ekologis maupun ekonomis tidak cocok. Pemanfaatan energi panas yang tidak terpakai dari tungku bisa menjadi solusi yang dapat diterima.

### *Informasi Lebih Lanjut*

Morichi, T. Physiology and metabolism of lactic acid bacteria: *Biseibutsu* **6**(1), 27-34 (1990) (dalam bahasa Jepang)

Sakai, K.; Murata, Y.; Yamazumi, H.; Tau, Y.; Mori, M.; Moriguchi M.; Shirai, Y. Selective proliferation of lactic acid bacteria and accumulation of lactic acid during open fermentation of kitchen refuse with intermittent pH adjustment: *Food Science and Technology Research*, **6**, 140-145 (2000)

Hassan, M. A.; Nawata, O.; Shirai, Y.; Nor'Aini A. R.; Phang L. Y.; Ariff, B. A.; Abdul Karim, M. I. A Proposal for Zero Emission from Palm Oil Industry Incorporating the Production of Polyhydroxyalkanoates from Palm Oil Mill Effluent: *Journal of Chemical Engineering of Japan*, **35** (1) 9-14 (2002)

Sakai, K.; Taniguchi, M.; Miura, S.; Ohara, H.; Matsumoto, T.; Shirai, Y. Novel process of poly-L-lactate production from municipal food waste: *Journal of Industrial Ecology*, **7**(3, 4), 63-74 (2004)

Mori, T.; Kosugi, A.; Murata, Y.; Tanaka, R.; Magara, K. Ethanol and Lactic Acid Production from Oil Palm Trunk: Proceedings of Annual meeting of the Japan Institute of Energy, **16**, 196-197 (2007) (dalam bahasa Jepang)

## 5.6 Silase

### 5.6.1 Apa itu silase?

Silase sekarang pada umumnya adalah pakan ternak dan domba yang diawetkan di banyak negara. Silase dihasilkan oleh fermentasi terkontrol dari tanaman dengan kelembaban tinggi. Silase adalah suatu proses fermentasi yang terdiri atas tanaman hijau dan rumput dalam silo (Gambar 5.6.1). Jenis-jenis silo dimana petani dapat memilih untuk memfermentasi panen mereka sangat bervariasi. Untuk kenyamanan, silo komersial dapat diklasifikasikan ke dalam kategori utama: tumpukan atau penjepit tanpa dinding penahan, menara, bunker, vakum, sosis plastik dan bal gulungan. Dibandingkan dengan jerami, asupan pakan, pencernaan dan nilai gizi silase sangat baik. Silase dapat dibuat dari banyak produk damping dari tanaman dan makanan, dan bahan lainnya.



Gambar 5.6.1. Pemetongan pakan (kiri) dan silo tumpukan (kanan).

### 5.6.2 Pembuatan silase

Silase berasal dari Mesir kuno. penelitian silase pada mekanisme fermentasi telah membuat kemajuan pesat pada abad ke-20. Silase dapat dibuat dari tanaman hijau dan rumput pada tahap optimum pertumbuhan dengan kelembaban yang cocok, sekitar 50% sampai 70%. Bahan pakan dikumpulkan, dirajang menjadi panjang sekitar 10 sampai 20 mm dan dikemas ke dalam silo. Pemanen mekanis digunakan untuk mengumpulkan tanaman dan memotong bahan makanan ternak, dan menyimpannya dalam truk atau gerobak. Pemanen hijau ini dapat berupa ditarik traktor atau berjalan sendiri. Pemanen meniup silase ke gerobak melalui saluran di bagian belakang atau sisi mesin. Inokulan LAB digunakan untuk membuat silase berkualitas tinggi (Gambar 5.6.2).



Gambar 5.6.2. Bentuk sel (kiri) dan inokulan (kanan) dari bakteri asam laktat "Chikuso 1".

### 5.6.3 Fermentasi silase

Pengawetan tanaman hijau sebagai silase tergantung pada produksi asam yang cukup untuk menghambat aktivitas mikroorganisme yang tidak diinginkan dalam kondisi anaerobik. Bakteri asam laktat epifit (LAB) yang secara alami ada pada tanaman hijau berubah gula menjadi asam laktat dalam proses silase. Hal ini sudah ditetapkan bahwa LAB memainkan peran penting dalam fermentasi silase. LAB merupakan komponen utama dari flora mikroba yang hidup dalam berbagai jenis tanaman pakan ternak. LAB biasa tumbuh dengan mikroorganisme lainnya yang terkait dengan tanaman selama proses fermentasi silase, dan mereka umumnya menentukan karakteristik fermentasi silase. Silase pertanian yang lembab didasarkan pada fermentasi asam laktat alami. LAB epifit mengubah karbohidrat yang larut dalam air menjadi asam organik selama proses silase. Akibatnya, pH berkurang dan hijau diawetkan.

Namun, ketika silo dibuka dan kondisi aerobik berlaku pada waktu makan, silase dipengaruhi oleh pertumbuhan mikroba aerobik dan karena itu berpotensi tidak stabil. Selanjutnya, silase yang memburuk meningkatkan hilangnya bahan kering dan mengurangi nilai gizi. Umumnya, silase yang terawat baik dianggap lebih tahan terhadap kerusakan aerobik dibandingkan silase dengan fermentasi yang buruk dan beberapa mikroorganisme aerobik dapat berbahaya bagi kesehatan ternak. Oleh karena itu, ramalan kerusakan aerobik merupakan tugas penting dalam pembuatan silase.

#### *5.6.4 Bal gulungan silase*

Bal gulungan adalah bentuk lain dari pakan yang disimpan. Rumput dipotong dan digulung ketika masih cukup basah. Jika terlalu basah, tidak dapat digulung dan disimpan sama seperti jerami. Dengan demikian, kandungan kelembaban yang tepat untuk membuat bal gulungan silase adalah sekitar 60 sampai 70%. Bal-bal tersebut dibungkus erat dengan 6 lapisan 0,025 mm plastik film tebal di pembungkus bal. Material tersebut kemudian melalui fermentasi terbatas di mana asam lemak rantai pendek diproduksi untuk melindungi dan mengawetkan hijauan tersebut. Metode ini menjadi populer pada beberapa peternakan. Di Jepang, metode persiapan bal gulungan silase jerami padi segar dikembangkan (Gambar 5.6.3), dan produksi pakan ternak dari sumber daya biomassa diharapkan untuk mendapatkan penggunaan terbaik dari teknologi bal gulungan.



Gambar. 5.6.3 Pembuatan bal gulungan silase (kiri) dan pembungkusan (kanan) dari jerami padi.

#### *5.6.5 Kekinian teknologi*

Dalam beberapa tahun terakhir, jumlah silase yang diawetkan sebagai bal gulungan telah meningkat secara dramatis, dan sistem pembuatan silase kini banyak dipraktikkan di Jepang dan negara-negara lain. Saat ini, inokulan silase baru, LAB dan jenis baru penggulung

bal rajangan dikembangkan untuk pembuatan silase jagung dan padi. Penelitian sumber daya biomassa yang tidak digunakan untuk pembuatan silase dari tanaman dan produk samping makanan sangat maju di Jepang.

### ***Informasi Lebih Lanjut***

Abe, A., The best use manual of food circulation resource, Science Forum. (2006)

Cai, Y., Silage, Dairy Japan (2004)

McDonald, P.;Henderson, N.;Heron, S.,The Biochemistry of Silage, 2nd ed., Chalcombe Publications (1991)

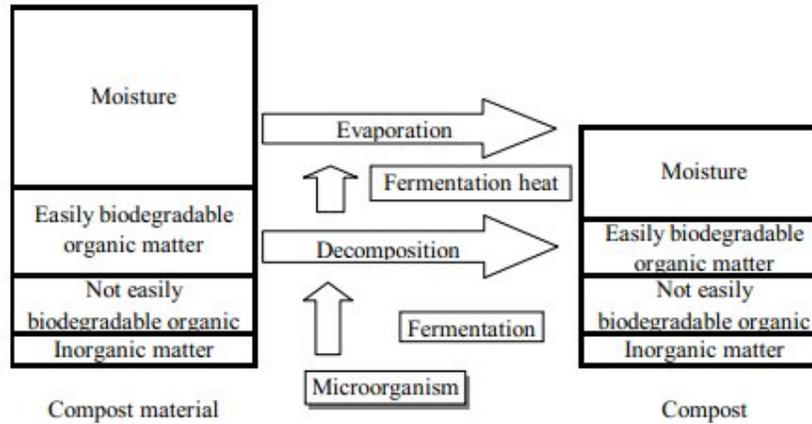
## **5.7 Pengomposan**

### ***5.7.1 Apa itu pengomposan?***

Kompos adalah campuran dari bahan organik biodegradable seperti jerami, sekam, kulit kayu, produk limbah hewani dan bahan organik hewan/tanaman (tidak termasuk lumpur dan organ ikan) yang terakumulasi atau dicampur, dan terurai oleh panas. Namun lumpur dan organ ikan dapat dianggap sebagai kompos jika diproses dengan benar.

### ***5.7.2 Prinsip-prinsip dasar pengomposan***

Pengomposan adalah proses mengumpulkan, mencampurkan dan mengaerasi bahan organik untuk mengurainya dengan bakteri aerobik dalam bahan, menguapkan kelembaban yang dihasilkan dengan panas dari dekomposisi, dan mensterilkan atau membuat mikroba berbahaya atau biji gulma tidak aktif, untuk membuat campuran kompos yang aman dan higienis. Gambar 5.7.1 menunjukkan proses pengomposan. Pengomposan menawarkan keuntungan yaitu: (1) mudah dalam penanganan oleh pengguna yang berpikiran higienis karena menghilangkan bau berbahaya dan rasa penanganan produk limbah biologis, (2) menghasilkan hara dalam jumlah unsur yang tepat untuk pupuk yang aman dan berkualitas tinggi untuk tanah dan tanaman, dan (3) memberikan kontribusi untuk menciptakan sebuah masyarakat yang mendaur ulang sumber dayanya.



Gambar 5.7.1. Gambaran konsep dari proses pengomposan.

### 5.7.3 Unsur dasar pengomposan

Pengomposan pada dasarnya terdiri atas (a) praproses, (a) proses fermentasi, dan (c) proses pembentukan produk.

#### (a) Praproses

Praproses membutuhkan peralatan untuk menyesuaikan faktor-faktor seperti kelembaban dan bahan organik, ukuran partikel, dan aerasi untuk membuat kompos dengan sifat yang diinginkan. Ketika memulai pengomposan, kelembaban biasanya harus disesuaikan antara 55 sampai 70% dan aerasi yang baik harus disediakan. Praproses ini termasuk metode aditif (penambahan bahan penyesuaian seperti cangkang, sekam, serbuk gergaji, dan potongan kayu), metode kembali (mengembalikan produk kompos dan mencampurnya dengan bahan baku kompos), dan metode pengeringan (pengeringan menggunakan energi eksternal).

#### (b) Fermentasi

Fermentasi membutuhkan tangki fermentasi, peralatan aerasi dan peralatan hidrolisis. Tangki fermentasi mengurai bahan organik dan memancarkan panas untuk menaikkan suhu bahan yang terakumulasi dalam tangki fermentasi sehingga kondisi untuk menghasilkan kompos yang aman dan higienis dicapai dengan menaikkan suhu keseluruhan bahan kompos sampai 65°C atau lebih tinggi dan mempertahankan suhu tersebut selama 48 jam atau lebih. Metode fermentasi secara umum dikelompokkan ke dalam metode akumulasi dan metode pengembalian mekanis. Dalam metode

akumulasi, bahan seperti kompos, bahan penyesuai, dan kompos yang dikembalikan menumpuk di lantai dan kemudian berulang kali dibalik saat diperlukan dengan sekop, dll. Dalam metode pengembalian mekanis, sebuah perangkat agitasi yang memiliki slot untuk pengisian bahan dan slot drainase untuk pencampuran bahan dipasang di dinding sisi atas dari tangki fermentasi. Peralatan aerasi mempertahankan material pada keadaan aerobik yang seragam dan menyediakan ventilasi untuk membuat uap air menguap dari bahan secara simultan dan menyebabkan fermentasi. Peralatan hidrolisis memasok air untuk bahan untuk memastikan fermentasi aerobik terus berlangsung karena aktivitas mikroba dalam bahan berhenti ketika kelembaban dalam bahan turun di bawah 40%.

### **(c) Proses pembentukan produk**

Proses pembentukan produk meliputi sortasi mekanis dan peralatan pengantongan/pengemasan untuk meningkatkan nilai produk dan membuat produk kompos lebih mudah untuk ditangani. Fasilitas lainnya mungkin termasuk peralatan penghilang bau sebagai bagian dari pengukuran lingkungan.

#### *5.7.4 Teknologi pengomposan saat ini*

Tabel 5.7.1 menunjukkan bahan utama yang dapat digunakan dalam pembuatan kompos. Sekam dan bahan berkayu memiliki indeks bahan biodegradable rendah sehingga dekomposisinya membutuhkan waktu lama tetapi efektif untuk meningkatkan kualitas tanah dan dapat digunakan dalam kombinasi dengan bahan lain untuk menghasilkan kompos berkualitas tinggi. Sampah mentah mengandung banyak bahan yang tidak bisa difermentasi seperti plastik, logam, dan kaca, dan juga memerlukan pemilahan menyeluruh dan praproses yang tepat. Lumpur mungkin memerlukan langkah-langkah khusus untuk penanganan logam berat, dll

Di antara teknologi daur ulang kompos, biogas, pengeringan, karbonisasi, pakan ternak, dan pembakaran, pengomposan dapat menggunakan berbagai jenis bahan dan menawarkan keuntungan yang signifikan dalam hal teknologi dan distribusi. Namun, jumlah dan periode permintaan produknya terbatas, dan beberapa daerah memiliki persediaan kompos berlebih. Upaya produksi masa depan akan membutuhkan kontrol kualitas yang terperinci, pembuatan kompos dari semua bahan yang diproduksi di daerah, dan konsumsi regional dari seluruh jumlah yang diproduksi di daerah tersebut.

### ***Informasi Lebih Lanjut***

Japan Livestock Industry Association Ed., *Composting Facility Design Manual*(2003) (dalam bahasa Jepang)

Japan Organics Recycling Association Ed., *Composting Manual*(2004) (dalam bahasa Jepang)

Livestock Industry's Environmental Improvement Organization Ed., *Livestock Dung Process Facility – Machine Setup Guidebook (compost processing facility version)* (2005) (dalam bahasa Jepang)

Tabel 5.7.1. Perbandingan bahan yang tersedia untuk pengomposan dan teknologi daur ulang lainnya (Asosiasi Daur Ulang Organik Jepang 2004)

| Material Name | Type                 | Composting | Biogas | Drying | Carbonization | Livestock feed | Incineration |
|---------------|----------------------|------------|--------|--------|---------------|----------------|--------------|
| Livestock     | Cattle dung          | ⊙          | ○      |        |               |                |              |
|               | Cattle dung/urine    | ○          | ⊙      |        |               |                |              |
|               | Dairy cow dung       | ⊙          | ○      |        |               |                |              |
|               | Dairy cow dung/urine | △          | ⊙      |        |               |                |              |
|               | Pig dung             | ⊙          | ○      |        |               |                |              |
|               | Pig dung/urine       | △          | ⊙      |        |               |                |              |
|               | Chicken dung         | ⊙          |        | ⊙      | ⊙             |                | ⊙            |
| Garbage       | Raw garbage          | ⊙          | ⊙      |        | △             | △              | ○            |
| Sludge        | Dehydrated sludge    | ⊙          | ⊙      | ⊙      | ○             |                | ○            |
| Crop residue  | Rice husks           | ⊙          |        |        | ⊙             | △              | ⊙            |
|               | Paddy straw          | ⊙          |        |        |               | ○              |              |
| Wood          | Sawdust              | ○          |        |        | △             |                | ⊙            |
|               | Bark                 | ⊙          |        |        |               |                | ⊙            |
|               | Pruning waste        | ○          |        |        | ⊙             |                | ⊙            |
|               | Chips                | ⊙          |        |        | ⊙             |                | ⊙            |

Note: ⊙: Matches category ○: Usable △: Usable after preprocessing

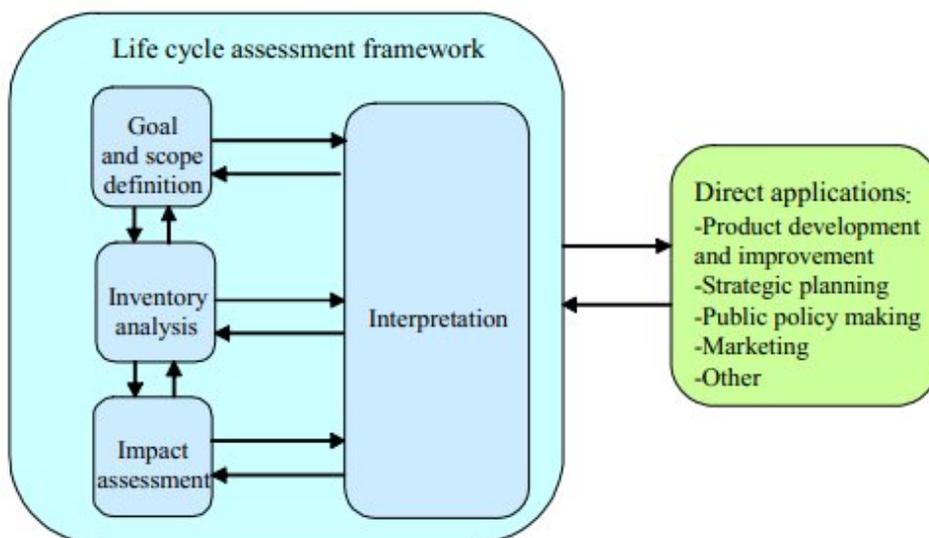
# Bab 6. Pengembangan Sistem untuk Keberlanjutan

## 6.1 Dasar-dasar LCA

### 6.1.1 Garis besar penilaian siklus hidup

*Life Cycle Assessment (LCA)* mengatasi dampak lingkungan dari produk target atau layanan di seluruh siklus hidup mereka, sehingga disebut "dari buaian hingga liang lahat", dan mengukur jumlah konsumsi sumber daya dan emisi dari semua tahap dari perolehan bahan baku sampai produksi, penggunaan, perlakuan pada akhir umur produk dan pembuangan akhir (analisis persediaan), kemudian mengevaluasi dampak berdasarkan hasil analisis persediaan (analisis dampak).

Standar internasional (ISO-14040) menyediakan "Prinsip dan kerangka" dari LCA. ISO-14040 mendefinisikan LCA sebagai "LCA adalah salah satu teknik yang dikembangkan untuk lebih memahami dan menangani dampak dari produk, baik saat diproduksi maupun dikonsumsi, termasuk dampak yang mungkin terkait dengannya". ISO-14040 juga secara jelas menunjukkan empat tahap untuk melakukan LCA: "Tujuan dan definisi ruang lingkup", "Analisis persediaan", "Penilaian dampak", dan "Interpretasi" (Gambar 6.1.1).



Gambar 6.1.1. Tahapan-tahapan LCA.

### 6.1.2 Pendefinisian tujuan dan ruang lingkup

Pada tahap ini, praktisi LCA mendefinisikan sistem produk yang akan dipelajari dan menjelaskan tujuan. Sebagai contoh, asumsikan bahwa "pengaruh kulkas terhadap pemanasan global" didefinisikan sebagai target evaluasi. Menurut tujuan, praktisi LCA memutuskan emisi yang akan diukur dan batasan yang dievaluasi. Target yang akan dipelajari dalam LCA awalnya berupa "fungsi" produk. Sebagai contoh, adalah fungsi untuk "mendinginkan sesuatu dalam penyimpanan" jika itu adalah "kulkas". Oleh karena itu, "fungsi" yang sama seperti volume yang sama, daya tahan yang sama harus ditetapkan ketika model yang berbeda dari lemari es dibandingkan. Selain itu, ketika melakukan LCA, sulit untuk mencakup semuanya dalam proses yang terkait dengan produk target atau jasa. proses, yang kontribusinya rendah bila dibandingkan dengan tujuan LCA, dihilangkan dari penelitian (*cut-off*). Kriteria *cut-off* digunakan untuk memutuskan pengecualian proses tersebut. Tidak ada aturan umum untuk pengecualian karena proses yang penting dapat berbeda jika tujuan penelitian berbeda. Sangat penting bahwa ruang lingkup konsisten dengan tujuan LCA.

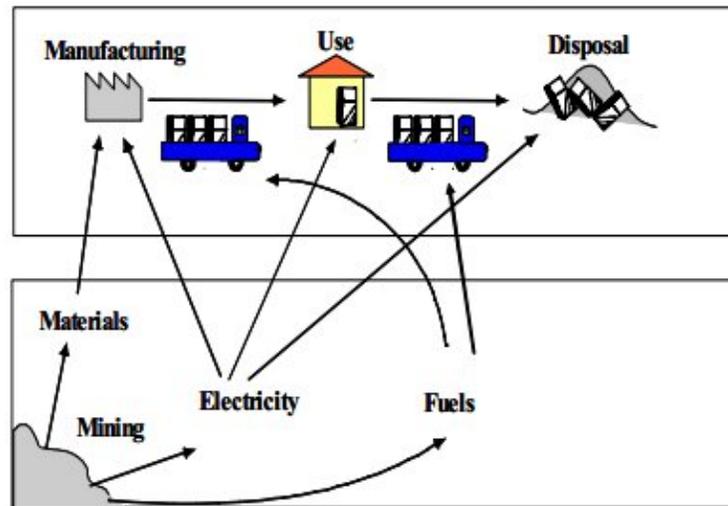
### 6.1.3 Analisis siklus hidup persediaan (LCI)

Analisis persediaan adalah fase penilaian siklus hidup yang melibatkan kompilasi dan kuantifikasi input dan output untuk produk sepanjang siklus hidupnya didalam batasan (sistem produk) yang ditentukan dari tujuan penelitian.

Pertama, praktisi analisis persediaan butuh untuk mengumpulkan data yang terkait dengan manufaktur, penggunaan, dan pembuangan akhir dari produk yang ditargetkan. Data ini umumnya disebut "data foreground" dan data tersebut harus dikumpulkan oleh praktisi LCA.

Data berikutnya yang harus dikumpulkan adalah data input-output untuk produksi bahan baku yang digunakan untuk menghasilkan produk (termasuk bahan primer atau sekunder), dan untuk pembangkit listrik yang dibutuhkan untuk memanfaatkan produk, dll. Data ini umumnya disebut "Data Latar Belakang". Sulit bagi praktisi LCA untuk mengumpulkan data latar belakang, dan biasanya data latar belakang dikutip dari makalah penelitian atau studi kasus LCA masa lalu. Ketika praktisi LCA mengacu pada beberapa data, perlu untuk memeriksa konsistensi karena emisi untuk pembakaran minyak berat atau pembangkit listrik mungkin berbeda dari literatur satu dengan literature lainnya. Hubungan data "foreground" dan data latar belakang ditampilkan pada Gambar 6.1.2.

## Foreground Data (LCA Practitioner)



## Background Data (Existing Database)

Gambar 6.1.2 Data foreground dan background.

Dalam sebuah analisis persediaan, dua item berikut mungkin kontroversial: "Batasan Sistem" dan "Alokasi". Batasan sistem menentukan unit proses mana yang akan dimasukkan dalam LCA. Pemilihan batas sistem harus konsisten dengan tujuan dari studi dan proses yang penting tidak boleh dikecualikan dalam batasan sistem. Ketika salah satu dari dua atau lebih produk berasal dari unit proses yang sama, "alokasi" diperlukan. Alokasi berarti membagi arus input atau output dari suatu proses atau sistem produk antara produk studi dan produk sampingan lainnya. Secara umum, input dan output dialokasikan berdasarkan rasio berat produk. Namun, ketika nilai pasar dari suatu produk cukup berbeda, input dan output mungkin dialokasikan dalam proporsi yang mencerminkan nilai ekonominya.

### 6.1.4 Siklus hidup penilaian dampak (LCIA)

Penilaian dampak pada LCA terdiri dari tiga bagian: klasifikasi, karakterisasi dan evaluasi total. Pada tahap klasifikasi, konsumsi sumber daya atau emisi diklasifikasikan ke kategori dampak berdasarkan dampak lingkungan yang potensial.

Tabel 6.1.1 menunjukkan daftar kategori dampak lingkungan standar dari Masyarakat Toksikologi Lingkungan dan Kimia (SETAC)-Eropa yang merupakan masyarakat akademis

terkemuka dalam studi LCA. Hal ini diperlukan untuk menjelaskan kategori lingkungan mana yang dipelajari, tergantung pada "pendefinisian tujuan dan ruang lingkup". Pada tahap karakterisasi, masing-masing data LCI yang digunakan untuk kategori dampak dikalikan dengan "Faktor Karakterisasi" (representasi kuantitatif dari kategori dampak) dan output ditampilkan sebagai indikator numerik, "Indikator Kategori".

Tabel 6.1.1. Daftar kategori dampak SETAC-Eropa

**A. Kategori yang berkaitan dengan input ("depleksi sumber daya atau kompetisi)**

|  |      |
|--|------|
| 1. sumber daya abiotik (deposit, dana, dan aliran) | Glob |
| 2. sumber daya biotik (dana)                       | Glob |
| 3. lahan   | Loc  |

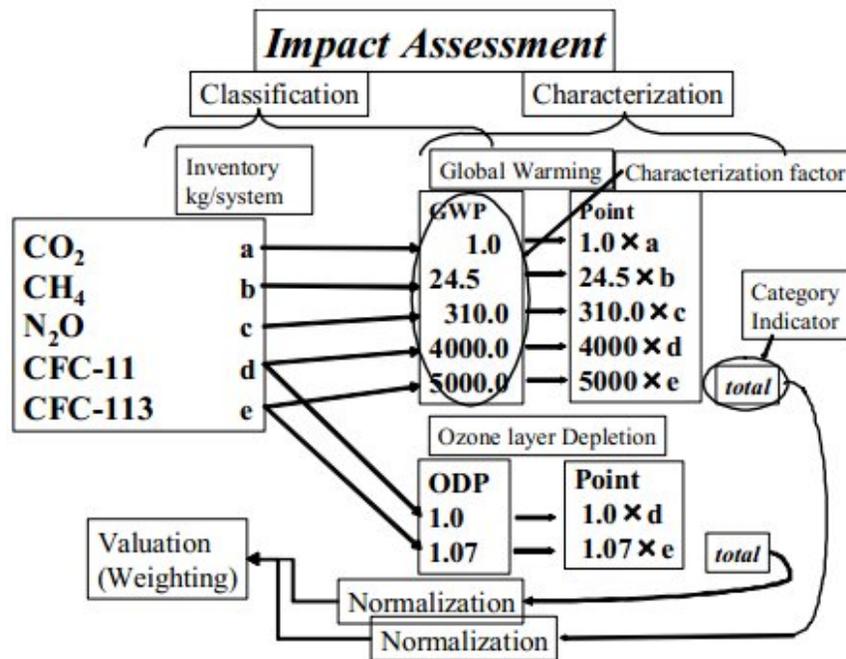
**B. Kategori yang berkaitan dengan output (pencemaran)**

|  |                   |
|--|-------------------|
| 4. pemanasan global                      | Glob              |
| 5. penyusutan ozon stratosfer            | Glob              |
| 6. dampak toksikologi manusia            | glob/cont/reg/loc |
| 7. dampak ekotoksikologi                 | glob/cont/reg/loc |
| 8. pembentukan foto-oksidan              | cont/reg/loc      |
| 9. asidifikasi                           | cont/reg/loc      |
| 10. eutrofikasi (termasuk BOD dan panas) | cont/reg/loc      |
| 11. bau                                  | Loc               |
| 12. suara                                | Loc               |
| 13. radiasi                              | reg/roc           |
| 14. pemanasan global                     | Loc               |

**Pro Memoria: Aliran tidak diikuti batasan sistem**

terkait input (energi, bahan, penanaman, kayu, dll)  
 terkait output (limbah padat, dll)

Gambar 6.1.3 menunjukkan prosedur umum dari penilaian dampak, mengambil pemanasan global dan penipisan lapisan ozon sebagai contoh. Nilai numerik yang mengungkapkan dampak lingkungan yang potensial dari emisi, seperti "Potensi Pemanasan Global (GWP)", sering digunakan untuk faktor karakterisasi. Perlu dicatat bahwa ISO-14040 mendefinisikan bahwa "klasifikasi dan karakterisasi" adalah elemen wajib tetapi "normalisasi, pengelompokan dan bobot" adalah elemen opsional. Meskipun mungkin bagi seorang praktisi untuk membuat indeks berdasarkan karbon dioksida atau klorofluoro-karbon dalam kategori dampak seperti "pemanasan global" dan "penipisan lapisan ozon", tetapi mereka memutuskan bahwa untuk mengintegrasikan dampak lingkungan yang berbeda ini dan untuk membuat indeks tunggal untuk pengambilan keputusan adalah tidak mungkin.



Gambar 6.1.3. Prosedur umum penilaian dampak.

### 6.1.5 Interpretasi

Di LCA, praktisi dapat mencapai hasil yang berbeda tergantung pada ruang lingkup studi, batasan sistem dan prosedur alokasi yang diambil dalam LCI serta pilihan faktor-faktor karakterisasi di LCIA. Pengaruh prosedur ini pada hasil harus dibahas dalam fase "interpretasi". Dalam banyak kasus LCI saat ini, hasil emisi dan konsumsi sumber daya dinyatakan oleh nilai numerik tunggal. Namun, setiap data yang proses mengalami kesalahan pengukuran dan kesalahan estimasi. Dalam standar ISO, perlu untuk mengevaluasi kualitas data menggunakan teknik untuk menentukan efek dari kesalahan data seperti "pemeriksaan sensitivitas" dan "analisis ketidakpastian", ketika praktisi melakukan penafsiran.

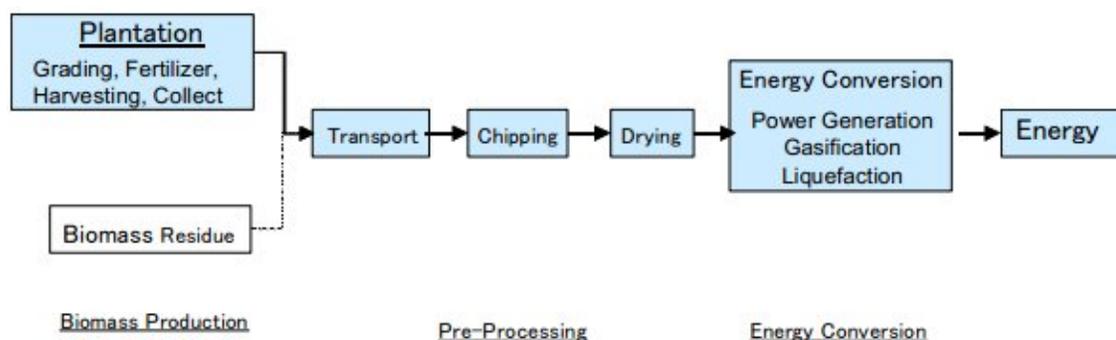
### Informasi Lebih Lanjut

SETAC "Guidelines for Life-Cycle Assessment A code of Practice", 1993

SETAC "Towards a Methodology for Life Cycle Impact Assessment", 1996

## 6.2 Efisiensi Energi

Ketika biomassa digunakan sebagai sumber energi, tidak hanya efisiensi energi dari teknologi konversi, tetapi juga siklus hidup efisiensi energi dan beban lingkungan harus dipertimbangkan seperti yang dijelaskan dalam bab sebelumnya. Dengan kata lain, perlu untuk mengevaluasi tahap siklus hidup biomassa: produksi, pra pemrosesan, dan konversi energi (Gambar 6.2.1).



Gambar 6.2.1. Tahapan konversi energi biomassa.

### 6.2.1 Konsumsi energi untuk budidaya dan panen biomassa

Asumsi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6.2.1 telah ditentukan, meskipun pertumbuhan kuantitas dan nilai kalori biomassa tergantung pada jenis pohon dan/atau kondisi meteorologi lokal.

Tabel 6.2.2-Tabel 6.2.4 yang diperoleh dari referensi menunjukkan energi yang dibutuhkan untuk penanaman pohon, menggambarkan listrik sebagai energi primer berdasarkan efisiensi pembangkit listrik (38,1%) di Jepang.

Tabel 6.2.4 menunjukkan persediaan aforestasi untuk produksi pulp di Brazil, yang dapat dianggap sebagai contoh teknologi produksi energi biomassa.

Tingkat pertumbuhan adalah nilai per masing-masing satuan luas dan tergantung pada interval antara pohon-pohon. Untuk kasus Brasil, banyak pekerjaan manusia (tugas) mengurangi konsumsi energi. Efisiensi energi produksi biomassa dapat ditemukan dengan membandingkan nilai kalor dari Tabel 6.2.1 dan konsumsi energi dari Tabel 6.2.2-6.2.4.

Sebagai contoh, kasus Amerika Utara menunjukkan bahwa 1,4 MJ energi (sekitar 7,4%) dikonsumsi untuk menghasilkan biomassa yang memiliki 18,8 MJ nilai kalori per satuan massa.

Tabel 6.2.1. Fitur pohon.

|                                    | Amerika Utara | Indonesia | Brazil     |
|------------------------------------|---------------|-----------|------------|
| Pohon                              | Poplar        | Acassia   | Eucalyptus |
| Laju pertumbuhan [t-kering/ha/thn] | 10            | 7.5       | 5.8        |
| Nilai kalor [MJ/kg-kering]         | 18.8          | 16.7      | 18.8       |
| Kadar karbon                       | 0.5           | 0.5       | 0.5        |

Tabel 6.2.2. Energi penanaman di Amerika Utara.

|                 | Minyak Diesel<br>[MJ/kg-kering] | Gas Alam<br>[MJ/kg-kering] | Listrik<br>[MJ,kWh/kg-kering] | Total<br>[MJ/kg-kering] |
|-----------------|---------------------------------|----------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| Penyemaian biji | 0,014                           | -                          | -                             | 0,014                   |
| Pupuk           | 0,024                           | 0,281                      | 0,073                         | 0,378                   |
| Pestisida       | 0,029                           | 0,010                      | 0,005                         | 0,044                   |
| Mesin           | 0,017                           | -                          | -                             | 0,017                   |
| Pemanenan       | 0,731                           | -                          | -                             | 0,731                   |
| Transport       | 0,240                           | -                          | -                             | 0,240                   |
| Jumlah          | 1,055                           | 0,291                      | 0,079                         | 1,425                   |

Tabel 6.2.3. Energi penanaman di Indonesia.

|                 | Minyak Diesel<br>[MJ/kg-kering] | Gas Alam<br>[MJ/kg-kering] | Listrik<br>[MJ,kWh/kg-kering] | Total<br>[MJ/kg-kering] |
|-----------------|---------------------------------|----------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| Penyemaian biji | 0,367                           | -                          | -                             | 0,367                   |
| Pupuk           | 0,032                           | 0,375                      | 0,073                         | 0,480                   |
| Pestisida       | 0,039                           | 0,013                      | 0,005                         | 0,057                   |
| Mesin           | 0,225                           | -                          | -                             | 0,225                   |
| Pemanenan       | 0,225                           | -                          | -                             | 0,225                   |
| Transport       | 0,408                           | -                          | -                             | 0,408                   |
| Jumlah          | 1,296                           | 0,388                      | 0,079                         | 1,763                   |

Tabel 6.2.4. Energi penanaman di Brazil.

|                 | Minyak Diesel<br>[MJ/kg-kering] | Gas Alam<br>[MJ/kg-kering] | Listrik<br>[MJ,kWh/kg-kering] | Total<br>[MJ/kg-kering] |
|-----------------|---------------------------------|----------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| Penyemaian biji | 0,024                           | -                          | -                             | 0,024                   |
| Pupuk           | 0,047                           | 0,225                      | 0,092                         | 0,364                   |
| Pestisida       | 0,050                           | -                          | -                             | 0,050                   |
| Mesin           | -                               | -                          | -                             | 0,000                   |
| Pemanenan       | 0,035                           | -                          | -                             | 0,035                   |
| Transport       | -                               | -                          | -                             | 0,000                   |
| Jumlah          | 0,156                           | 0,225                      | 0,092                         | 0,473                   |

## 6.2.2 Konsumsi energi pra perlakuan untuk konversi energi dari biomassa

Untuk pemanfaatan biomassa, diperlukan pra perlakuan seperti transportasi dari lokasi perkebunan, penghancuran (tipping), dan pengeringan.

Meskipun masing-masing teknologi konversi membutuhkan biomassa dengan ukuran chip dan kadar air tertentu, Tabel 6.2.5 menunjukkan contoh (energi transportasi, energi untuk menghancurkan, dan energi pengeringan). Untuk menghitung energi transportasi, diasumsikan bahwa 5 t biomassa kering diangkut oleh truk yang beban maksimumnya adalah 20 t dan jarak tempuh bahan bakar adalah 3 km/L. Energi untuk menghancurkan diperoleh dari referensi. Energi pengeringan dihitung, dengan asumsi bahwa biomassa dikeringkan sampai kadar air menjadi 20% dari 50%, dengan mempertimbangkan bahwa sekitar 20% panas hilang di samping panas karena penguapan.

Ketika jarak transportasi adalah 30 km, energi pra pemrosesan masing-masing adalah 75 MJ/t-kering (3,6%) untuk transportasi, 0,786 MJ/t-kering (0,037%) untuk penggilingan dan 2.032 MJ/t-kering (96,4%) untuk pengeringan. Hal ini menunjukkan bahwa konsumsi energi dalam tahap transportasi relatif kecil pada asumsi ini. Konsumsi energi dalam tahap pengeringan akan berkurang dengan pengeringan alami atau pengeringan dengan panas limbah.

Tabel 6.2.5. Konsumsi energi pada pra perlakuan.

|                     |             | Penggunaan energi   |
|---------------------|-------------|---------------------|
| Pengangkutan (truk) | Diesel      | 2,5 MJ/t-kering/km  |
| Energi penghancuran | Listrik     | 0,0832 kWh/t-kering |
| Energi pengeringan  | Minyak bumi | 2,030 MJ/t-kering   |

## 6.2.3 Perbandingan efisiensi energi antara energi biomassa dan bahan bakar fosil

Konsumsi energi untuk menghasilkan 1 MJ energi dibandingkan antara biomassa dan bahan bakar fosil (batubara) (Tabel 6.2.6). Untuk kedua kasus, tahap transportasi dari tempat produksi ke tempat pemanfaatan dihilangkan untuk penyederhanaan.

Gambar 6.2.2 menunjukkan konsumsi energi dan emisi CO<sub>2</sub> dari biomassa dan bahan bakar fosil, maka bagian dari ①+② dan ①'+②' disini menunjukkan batasan. Dalam kasus

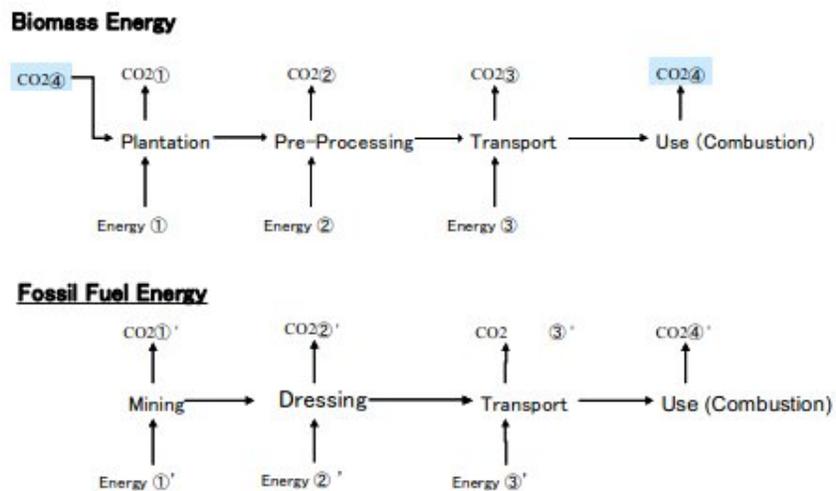
biomassa, ①+② berarti konsumsi energi untuk tahap aforestasi, penghancuran, dan pengeringan. Data penambangan batubara diperoleh dari data di Australia.

Gambar 6.2.3 menunjukkan hasil dari perbandingan. Konsumsi energi produksi biomassa di Amerika Utara, Indonesia dan Brazil masing-masing adalah 0,182 MJ/MJ-biomassa, 0,200 MJ/MJ-biomassa dan 0,132 MJ/MJ-biomassa, dan konsumsi energi dari produksi batubara adalah 0,008 MJ/MJ- batubara. Hasilnya menunjukkan bahwa proses produksi biomassa membutuhkan energi jauh lebih besar dari proses produksi batubara dalam rangka untuk memperoleh energi yang setara.

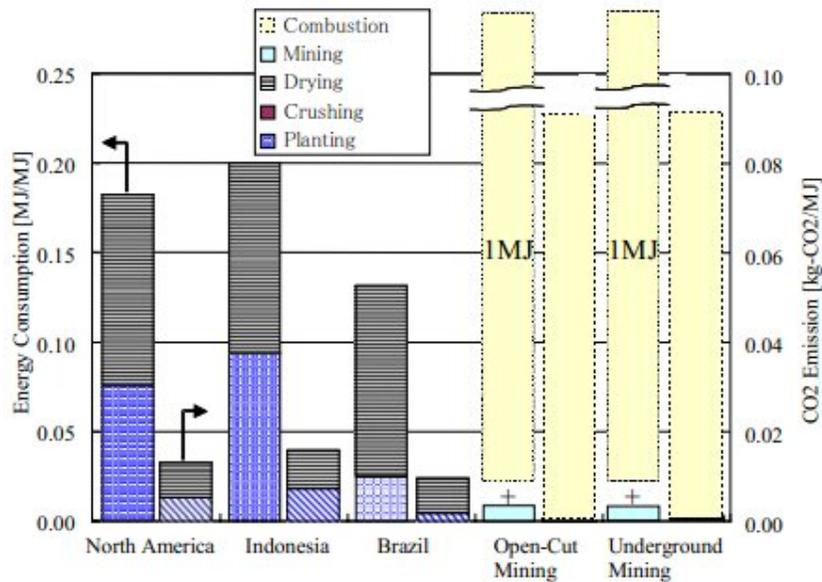
Pada LCA, konsumsi energi sasaran evaluasi ditentukan berdasarkan pada penggunaan sumber daya energi yang digunakan. Jadi konsumsi energi biomassa tidak dihitung sebagai konsumsi energi, jika biomassa diperoleh dari aforestasi berkelanjutan. Sebagai tambahan terhadap konsumsi energi untuk produksi ini, penggunaan 1 MJ sumber energi dikonsumsi pada tahap penggunaan energi batu bara. Akibatnya, siklus hidup konsumsi energi menjadi lebih rendah untuk biomassa daripada bahan bakar fosil.

Tabel 6.2.6. Konsumsi Energi Pertambangan Batubara

| Sumber Energi |             | Pertambangan terbuka | Pertambangan bawah tanah |
|---------------|-------------|----------------------|--------------------------|
| Listrik       | kWh/t-arang | 9,61                 | 19,4                     |
| Diesel        | Kg/t-arang  | 4,158                | 0,6639                   |
| Bensin        | Kg/t-arang  | 0,01327              | 0,0113                   |



Gambar 6.2.2. Konsumsi energi dan gambar emisi CO<sub>2</sub> pada biomassa dan bahan bakar fosil.



Gambar 6.2.3. Perbandingan antara biomassa dan batubara pada konsumsi energi dan CO<sub>2</sub>.

### ***Informasi Lebih Lanjut***

Turhollow, A.F. and R.D. Perlack, Biomass and Bioenergy, 1(3), pp.129-135, 1991

NEDO, "Investigation of forest from a viewpoint of global environment (the 2<sup>nd</sup>) (a case study of planting)", NEDO-GET-9603, 1996 (dalam bahasa Jepang)

Yokoyama, S., "Eucalyptus Plantation in Brazil, Resources and Environment", Shigen to Kankyo, pp.431-436, 1996 (dalam bahasa Jepang)

IEEJ (Institute of Energy and Economics in Japan), "Life Cycle Inventory Analysis of Fossil Energies in Japan, IEEJ, 1999 (dalam bahasa Jepang)

## **6.3 Emisi Karbon Dioksida dan Dampak Lingkungan**

### ***6.3.1 Emisi CO<sub>2</sub> biomassa***

Pada evaluasi energi dari biomassa dalam paragraf sebelumnya, minyak ringan, gas alam dan listrik dikonsumsi untuk tahap penanaman; listrik untuk tahap penghancuran; minyak berat untuk tahap pengeringan. Dan minyak ringan, bensin (setara minyak ringan), listrik dikonsumsi untuk pertambangan batubara. Mengevaluasi emisi CO<sub>2</sub> untuk mengkonsumsi energi seperti minyak ringan, minyak berat, bensin dan gas alam, perlu untuk mempertimbangkan emisi CO<sub>2</sub> dari proses pembakaran dan produksi mereka. Komposisi

kekuatan sumber daya harus dipertimbangkan untuk mengevaluasi emisi CO<sub>2</sub> dari konsumsi listrik. Diasumsikan bahwa emisi CO<sub>2</sub> sesuai dengan proses produksi energi ini sama dengan yang ada di Jepang, dan faktor-faktor emisi diperoleh dari hasil LCA (Tabel 6.3.1) (Tahara 1997, Tahara 1998).

Emisi CO<sub>2</sub> dari biomassa dan batubara diperoleh dengan mengalikan faktor emisi CO<sub>2</sub>, dengan konsumsi energi dari produksi biomassa (Gambar 6.2.1). Emisi CO<sub>2</sub> dari produksi biomassa 0,0130 kg-CO<sub>2</sub>/MJ-biomass. Emisi CO<sub>2</sub> dari tambang terbuka terbuka dan tambang batubara bawah tanah masing-masing adalah 0,00053 kg-CO<sub>2</sub>/MJ-batubara dan 0,00039 kg-CO<sub>2</sub>/MJ-batubara dan keduanya menjadi 0,091 kg-CO<sub>2</sub>/MJ-batubara dengan mempertimbangkan tahap pembakaran. Diasumsikan bahwa hutan akan menyerap emisi CO<sub>2</sub> (CO<sub>2</sub> ④) dari pembakaran biomassa seperti ditunjukkan pada Gambar 6.2.2.

Tabel 6.3.1. Satuan emisi CO<sub>2</sub> dari berbagai energi di Jepang.

|                      | <b>Pembebasan CO<sub>2</sub></b> |
|----------------------|----------------------------------|
| <b>Minyak diesel</b> | 0,0715 kg-CO <sub>2</sub> /MJ    |
| <b>Minyak bumi</b>   | 0,0746 kg-CO <sub>3</sub> /MJ    |
| <b>Petroleum</b>     | 0,0715 kg-CO <sub>4</sub> /MJ    |
| <b>LNG</b>           | 0,0516 kg-CO <sub>5</sub> /MJ    |
| <b>Listrik</b>       | 0,4378 kg-CO <sub>6</sub> /MJ    |

### 6.3.2 *Perbandingan antara pembangkit listrik biomassa dengan pembangkit listrik lainnya*

Teknologi pembangkit biomassa dibandingkan dengan teknologi pembangkit lainnya (batubara, minyak, LNG, tenaga air, konversi energi panas laut, fotovoltaik). Pembangkit listrik biomassa didefinisikan sebagai skala yang dapat mengelola biomassa sebanyak yang tumbuh pada 30km<sup>2</sup> aforestasi di Amerika Utara, Indonesia, dan Brasil. Kuantitas Tahunan pengiriman listrik dan skala masing-masing pembangkit listrik ditunjukkan dalam tabel 6.3.2.

Emisi CO<sub>2</sub> per kWh dari masing-masing pembangkit dapat ditemukan dengan membagi jumlah emisi CO<sub>2</sub> pada konstruksi dan operasi pembangkit listrik (pembakaran bahan bakar dan pemeliharaan) dengan jumlah keseluruhan energi yang dihasilkan, dengan asumsi daya tahan dari masing-masing pembangkit. Daya tahan dari semua pembangkit listrik di sini ditetapkan sebesar 30 tahun.

Tabel 6.3.3 dan Gambar 6.3.1 menunjukkan emisi CO<sub>2</sub> masing-masing pembangkit berdasarkan LCA. Sementara fasilitas pembangkit listrik biomassa memiliki kesamaan dengan

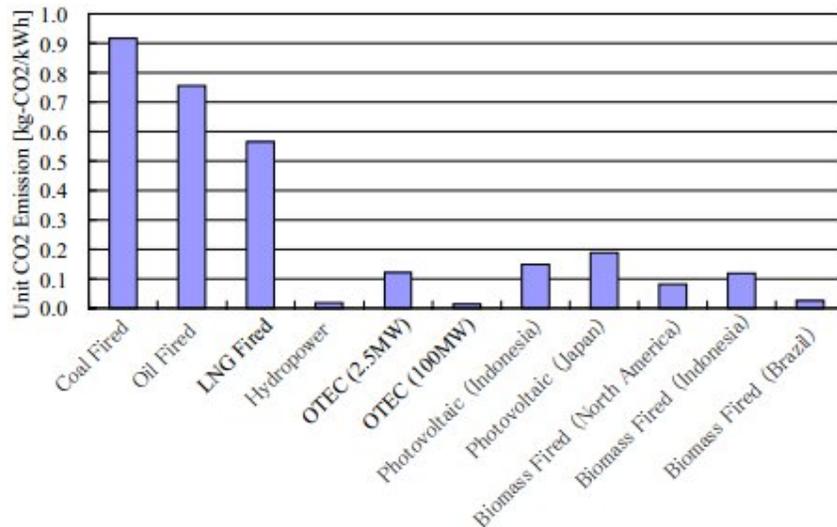
pembangkit listrik termal oleh bahan bakar fosil, emisi CO<sub>2</sub> per unit listrik dari pembangkit biomassa memiliki penurunan drastis karena emisi CO<sub>2</sub> pada pembakaran biomassa tidak dihitung. Tentang emisi CO<sub>2</sub>, pembangkit listrik biomassa merupakan teknologi yang sangat kompetitif dibandingkan pembangkit energi terbarukan lainnya.

Tabel 6.3.2. Skala pabrik dari berbagai stasiun pembangkit listrik

| Jenis Pembangkit         | Pembangkit Tahunan [kWh/thn] | Skala pabrik [MW] | Rujukan                 |
|--------------------------|------------------------------|-------------------|-------------------------|
| Arang                    | 6,08 x 10 <sup>9</sup>       | 1000              | Uchiyama et al., 1991   |
| Minyak                   | 6,17 x 10 <sup>9</sup>       | 1000              | Uchiyama et al., 1991   |
| LNG                      | 6,34 x 10 <sup>9</sup>       | 1000              | Uchiyama et al., 1991   |
| Tenaga hidro             | 3,93 x 10 <sup>7</sup>       | 10                | Resources Council, 1983 |
| OTEC (2,5MW)             | 8,76 x 10 <sup>6</sup>       | 2,5               | Resources Council, 1983 |
| OTEC (100MW)             | 5,70 x 10 <sup>8</sup>       | 100               | Tahara et al., 1993     |
| Fotovoltaik (Indonesia)  | 1,18 x 10 <sup>7</sup>       | 10                | Inaba et al., 1995      |
| Fotovoltaik (Jepang)     | 8,64 x 10 <sup>6</sup>       | 10                | Inaba et al., 1995      |
| Biomassa (Amerika Utara) | 1,04 x 10 <sup>9</sup>       | 197               | Tahara et al., 1993     |
| Biomassa (Indonesia)     | 1,65 x 10 <sup>8</sup>       | 94                | Tahara et al., 1993     |
| Biomassa (Brazil)        | 5,98 x 10 <sup>8</sup>       | 114               | Tahara et al., 1993     |

Tabel 6.3.3. Satuan emisi CO<sub>2</sub> dari berbagai pembangkit listrik

| Jenis Pembangkit         | Pembebasan CO <sub>2</sub> per unit [kg-CO <sub>2</sub> /kWh] |
|--------------------------|---|
| Arang                    | 0,916   |
| Minyak                   | 0,756   |
| LNG                      | 0,563   |
| Tenaga hidro             | 0,017   |
| OTEC (2,5MW)             | 0,119   |
| OTEC (100MW)             | 0,014   |
| Fotovoltaik (Indonesia)  | 0,148   |
| Fotovoltaik (Jepang)     | 0,187   |
| Biomassa (Amerika Utara) | 0,081   |
| Biomassa (Indonesia)     | 0,119   |
| Biomassa (Brazil)        | 0,024   |



Gambar 6.3.1. Satuan emisi CO<sub>2</sub> dari berbagai pembangkit listrik.

### 6.3.3 Dampak lingkungan dari biomassa

Emisi CO<sub>2</sub> telah difokuskan hanya sebagai salah satu dampak lingkungan dari biomassa. Tetapi adalah perlu untuk mempertimbangkan emisi gas rumah kaca lainnya seperti CH<sub>4</sub> dan N<sub>2</sub>O dalam produksi biomassa. Penggunaan lahan untuk produksi biomassa juga merupakan efek kunci untuk lingkungan.

Selain itu, persaingan dengan makanan mungkin dianggap sebagai dampak lingkungan turunan dalam kasus jenis budidaya biomassa.

#### ***Informasi lebih lanjut***

Tahara, K. et al. "Evaluation of generation plant by LCA-Calculation of CO<sub>2</sub> payback time", Chemical Engineering, 23(1), pp.88-94, 1997 (dalam bahasa Jepang)

Uchiyama, Y. and H. Yamamoto, "Impact of Generation Plant on Global Warming", Central Res. Inst. of Electric Power Industry report Y91005, 1992 (dalam bahasa Jepang)

Science and Technology Agency resource survey society, "Natural energy and generation technology", Taisei Publishing co. Ltd, 1983 (dalam bahasa Jepang)

Tahara, K. et al., "Role of ocean thermal energy conversion in the issue of carbon dioxide", Macro Review, 6, pp.35-43, 1993 (dalam bahasa Jepang)

Inaba, A, et al, "Life cycle assessment of photovoltaic power generation system, Energy and Resources", 16(5), pp.525-531, 1995

Tahara, K., et al. "Life Cycle Assessment of Biomass power Generation with Sustainable Forestry System" 4th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies (GHGT-4) 1998, 9, Interlaken, Switzerland

## **6.4 Evaluasi Ekonomi Bioenergi**

### *6.4.1 Biaya bioenergi*

Biaya bioenergi dapat dipisahkan menjadi 3 tahap: sumber daya, biaya konversi teknologi, dan biaya energi sekunder pada konsumen akhir.

Biaya sumber daya terdiri atas tidak hanya biaya sumber daya tetapi juga 1) biaya kesempatan (nilai jika biomassa digunakan sebagai bahan atau makanan), 2) biaya manajemen limbah untuk pembuangan yang tepat, dan 3) biaya lingkungan (dampak lingkungan dari produksi biomassa).

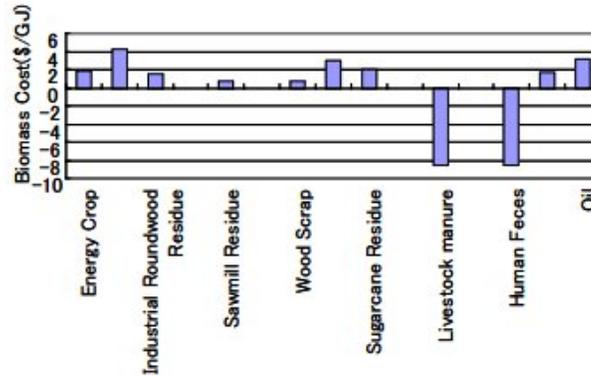
Biaya teknologi konversi bergantung pada jenis input biomassa, jenis teknologi, kerangka waktu evaluasi, dan faktor lainnya.

Biaya energi sekunder (listrik, panas, bahan bakar, dan bentuk lain yang dikonversi dari sumber daya biomassa) dihitung sebagai penjumlahan dari biaya sumber daya dan biaya konversi teknologi.

Perlu untuk mengevaluasi biaya bioenergi dengan informasi terbaru yang berkaitan dengan biaya energi, persaingan penggunaan lahan, teknologi bioenergi yang tersedia, eksternalitas lingkungan, dan aspek lainnya.

### *6.4.2 Biaya sumber daya bioenergi*

Sumber daya bioenergi terdiri atas bahan baku, bioenergi perkebunan, dan residu biomassa (yang dikeluarkan selama proses konversi dan konsumsi biomassa). Ketika bahan baku seperti kayu dan makanan diubah menjadi bioenergi, biaya kesempatan akan timbul. Biaya lingkungan diperkirakan berdasarkan dampak terhadap perubahan penggunaan lahan, keanekaragaman hayati lokal, dan aspek. Residu biomassa dapat menjadi negatif ketika manajemen limbah biomassa yang tepat diimplementasikan.



Gambar 6.4.1 Biaya biomassa.

Biaya sumber daya bioenergi dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$[\text{biaya sumber bioenergi}] = [\text{biaya suplai}] + [\text{biaya kesempatan}] + [\text{biaya lingkungan}] - [\text{biaya pembuangan}]$$

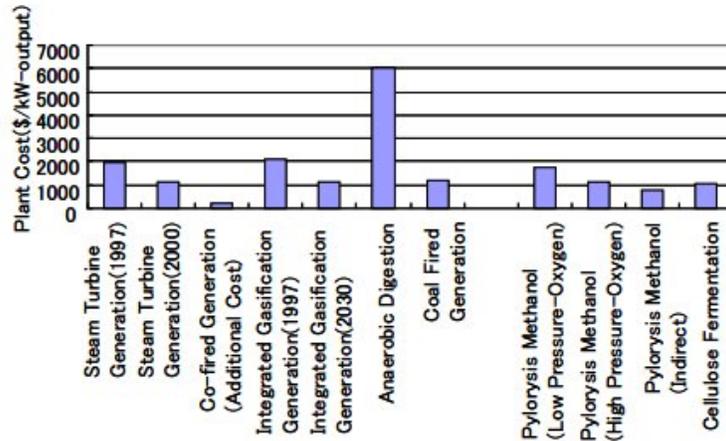
Kayu bakar modern dan chip kayu memiliki biaya lebih tinggi karena kualitas baik mereka sebagai bahan dan biaya kesempatan. Residu sereal juga memiliki biaya yang lebih tinggi akibat transportasi dan saham. Biaya perkebunan pada dasarnya adalah tinggi. Residu bioenergi dapat tersedia dengan biaya negatif akibat pengelolaan limbah.

### 6.4.3 Biaya teknologi konversi biomassa

Biomassa tradisional langsung digunakan sebagai kayu atau arang. Biomassa modern dikonsumsi sebagai pembawa energi yang berguna seperti listrik, bahan bakar cair, dan bahan bakar gas. Ada beberapa jenis teknologi konversi seperti pembangkit listrik (tenaga uap, gasifikasi terpadu), pirolisis, dan fermentasi (pencernaan anaerobik, produksi etanol).

Biaya pembangkit gasifikasi biomassa terpadu dievaluasi sebagai berikut. Biaya instalasi diproyeksikan sekitar 2102 \$ /kWe (kapasitas 75 MWe, efisiensi 36%) pada tahun 1997, 1892 \$/kWe (kapasitas 100MWe, efisiensi 37%) pada tahun 2000, 1111 \$/kWe (kapasitas 110 MWe, efisiensi 45%) di 2030 (harga tahun 1996). Tapi tetap saja masih dalam tahap percobaan pada tahun 2001. Evaluasi lain memperkirakan biaya instalasi sekitar 1221 \$/kWe dengan kapasitas 100 MWe (harga tahun 1990). Pengeluaran tahunan (sebagai bagian dari biaya instalasi dan biaya operasi tahunan) diasumsikan 12%.

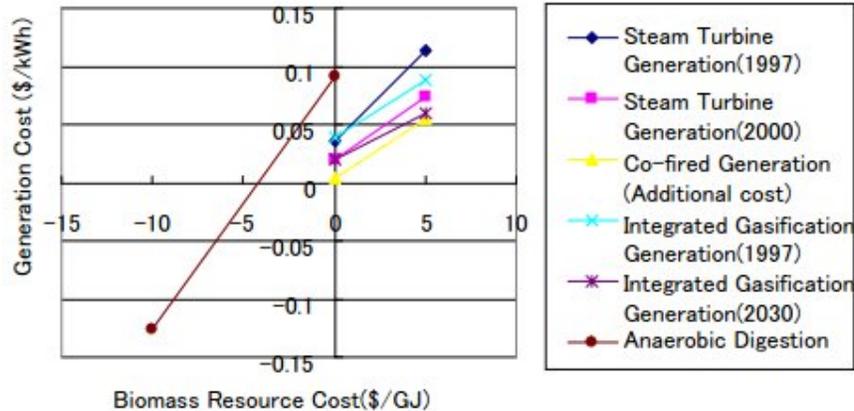
Gambar menunjukkan biaya konversi bioenergi dari teknologi yang umum digunakan. Meskipun biaya teknologi fermentasi lebih tinggi daripada yang lain, hal tersebut dapat dimoderasi untuk menyertakan biaya pengelolaan limbah kotoran ternak. Biaya teknologi untuk pembangkit uap, gasifikasi terpadu, dan pirolisis diharapkan akan lebih murah karena pengembangan teknologi dan penyebaran, tetapi hal tersebut tidak pasti. Biaya *co-firing* adalah biaya tambahan untuk mereformasi pembangkit batubara yang ada.



Gambar 6.4.2 Biaya pabrik.

#### 6.4.4 Biaya energi sekunder

Biaya energi sekunder (dikonversi menjadi listrik, panas, dan bahan bakar cair menggunakan sumber daya biomassa melalui teknologi konversi yang tepat) dihitung. Biaya instalasi tahunan dihitung berdasarkan asumsi sebagai berikut: 1) tingkat suku bunga 5%, 2) umur proyek 30 tahun (20 tahun untuk pirolisis dan fermentasi), 3) pengeluaran tahunan sebesar 12% (10% untuk pembangkit fermentasi, 17% untuk pirolisis, 27% untuk fermentasi etanol). Analisis ini menunjukkan bahwa generasi gasifikasi terpadu menjanjikan jika dikembangkan dengan baik seperti yang diperkirakan. Pirolisis juga menjanjikan jika biaya teknologi dapat dikurangi di masa depan. Lebih jauh lagi, biaya evaluasi termasuk ketidakpastian. Biaya sumber daya bergantung pada situasi lokal dan biaya teknologi adalah subyektif untuk teknologi RDD. Oleh karena itu, untuk penggunaan praktis, perlu untuk menganalisis biaya bioenergi berdasarkan informasi terbaru.



Gambar 6.4.3 Biaya biomassa (Pembangkit).

### *Informasi Lebih Lanjut*

Yamamoto, H., et al., “Economic Analysis of Bioenergy Utilization Technologies”, The 18th Energy Systems, Economics, and Environmental Conference, pp.233-238, 2002 (dalam bahasa Jepang)

DeMeo, E.A., “Renewable energy technology characterizations”, Technical Report TR-109496, Electric Power Research Institute (EPRI) and U.S. Department of Energy, 1997

OECD, “Projected cost of generating electricity update 1998”, 1998

## **6.5 Evaluasi Lainnya**

### *6.5.1 Standar hidup*

Karena pertanian adalah penting untuk pengembangan ekonomi, diharapkan bahwa pertanian berkelanjutan mengarah pada perbaikan standar hidup petani serta penghasilan mereka. Pada bagian ini, skala kecil pabrik biometanasi di daerah pedesaan Thailand diambil sebagai contoh. Sebuah peternakan kecil memberikan kotoran hewan sebagai bahan baku untuk pencernaan anaerobik. Kotoran dari 5 sapi digunakan sebagai bahan baku. Produk biogas digunakan untuk memasak. Ini diharapkan akan cukup untuk 3-kali memasak selama 1 jam untuk setiap hari. Dalam pengertian ini, biometanasi skala kecil ini diinginkan karena petani dapat menggunakan kotoran sapi di peternakan mereka sendiri, dan produk gas dapat digunakan untuk tujuan mereka sendiri. Pemanfaatan residu fermentasi sebagai pupuk menjadi produk daur ulang, mengurangi jumlah pupuk kimia. Hal ini biasa untuk petani Thailand untuk

menggunakan pupuk kimia yang tidak berkelanjutan, dan produk kompos dari pabrik biometanasi ini sangat membantu untuk beralih ke pertanian berkelanjutan. Akibatnya, pabrik ini mencapai daur ulang lokal kotoran sapi sebagai energi (biogas) dan materi (kompos). Aspek lain yang baik dari pabrik biometanasi ini adalah peningkatan kebersihan petani. Jumlah lalat berkurang setelah pengenalan pabrik ini.

Pabrik yang diperiksa pada tahun 2006 adalah satu-satunya yang beroperasi, dan dua lainnya sedang dalam konstruksi (Gambar 6.5.1). Alasan untuk ini sepertinya ketidaktahuan petani pada teknologi ini. Selama diskusi dengan orang Thailand, menunjukkan bahwa pendidikan orang adalah penting. Di daerah pedesaan Thailand, tingkat pengetahuan huruf tidak tinggi. Sebenarnya, pabrik yang diperiksa adalah pabrik demonstrasi yang sepenuhnya didukung oleh pemerintah setempat untuk menunjukkan kepada masyarakat sekitar tentang efektivitas pabrik biometanasi. Dalam pengertian ini, penting untuk memberikan informasi yang tepat dari teknologi ini untuk para petani.

Hal yang penting untuk pemanfaatan biomassa bagi petani untuk menjadi efektif adalah aksesibilitas pabrik biomassa atau tempat pengumpulan biomassa dari petani. Bahkan jika petani memiliki atau memproduksi bahan baku biomassa, itu menjadi tidak berarti jika mereka tidak memiliki akses ke tempat-tempat di mana bahan baku tersebut dapat dimanfaatkan.



Gambar. 6.5.1. Reaktor fermentasi dalam pembangunan.

### *6.5.2 Penghasilan petani*

Dengan menggunakan pabrik yang dijelaskan di atas, petani tidak perlu membayar 350 baht sebulan (100 baht = 2,85 US \$, per Desember 2006), yang merupakan biaya gas propana. Ini adalah jumlah yang wajar bagi sebuah keluarga petani, dan mereka mengatakan bahwa

mereka senang dengan pengurangan biaya ini. Residu fermentasi ditempatkan dalam kantong 30 kg dan dijual 12 baht per kantong. Sistem ini cukup sederhana, dan pabrik ini bisa dibuat oleh penduduk desa dalam waktu 9 hari. Biaya bahan baku 5.000 baht dan biaya total 7.400 baht, sehingga waktu pengembalian modal 21,1 bulan. Seseorang dari pemerintah setempat yang tahu teknisnya bisa membantu petani untuk membangun. Cara untuk membuat proses secara ekonomis layak adalah struktur sederhana dan tenaga kerja gratis, yaitu saling membantu di desa. Bahan-bahan yang ada murah. Tidak ada keahlian khusus yang diperlukan untuk operasi, bagian utama dari operasi adalah petani itu sendiri, dan ini mengurangi biaya tenaga kerja. Kesederhanaan menghasilkan ketidakhadanya kebutuhan dari orang untuk operasional atau biaya tenaga kerja, dan petani sendiri dapat membangun pabrik.

Kebetulan, pendapatan petani yang tinggal di sekitar pabrik produksi etanol di Thailand dibahas di sini (Gambar 6.5.2). Pabrik ini berencana untuk membangun 100.000-L/hari etanol dan bahan baku yang digunakan diasumsikan singkong. Hal ini karena harga pasar dari singkong agak lebih stabil daripada molase. Para petani tidak bisa mendapatkan penghasilan ketika pabrik menggunakan molase karena pabrik membayar pabrik produsen gula. Oleh karena itu, pabrik berpikir bahwa peningkatan produksi etanol dari singkong akan membuat budidaya ubi kayu lebih menarik dan orang-orang di daerah pedesaan tetap ada. Harga unit keripik singkong sekarang 3,7 baht/kg. Dalam rangka untuk menjual singkong ke pabrik, petani harus memotong dan mengeringkan (kadar air di bawah 18%) untuk pra perlakuan. Mengingat hal ini, mereka bisa mendapatkan 1 baht/kg dan keuntungan ini cukup menarik bagi mereka.

Ada dua cara utama untuk mendukung petani. Salah satunya adalah untuk memasok energi sehingga mereka memiliki akses ke bahan bakar yang berguna. Di Thailand, biometanasi skala kecil menyediakan gas untuk memasak bagi para petani, sehingga mereka tidak perlu membeli gas propana untuk memasak. Dukungan kepada petani ini juga efektif untuk pertanian berkelanjutan karena pengurangan penggunaan bahan bakar fosil. Dukungan lainnya adalah dengan uang tunai. Ketika mereka menanam bahan baku untuk produksi etanol dan menjualnya dengan harga yang lebih tinggi, mereka bisa mendapatkan uang untuk membeli listrik. Karena mereka yang menggunakan etanol sebagai bahan bakar lebih kaya dibandingkan dengan petani, mekanisme ini dapat dianggap sebagai “redistribusi kekayaan”.



Gambar. 6.5.2. Pabrik produksi etanol di Thailand.

### *6.5.3 Keamanan energi dan mata uang asing*

Produksi bioenergi diharapkan untuk meningkatkan keamanan energi dalam negeri. Di sisi lain, ada kesempatan bagi negara-negara berkembang untuk mendapatkan mata uang asing dengan mengekspor bioenergi. Di sini menggambarkan secara singkat komitmen pemerintah Thailand pada produksi bioenergi.

Pada Desember 2006, harga unit etanol adalah 23,50 baht per liter, yang ditentukan oleh Kementerian Energi, Thailand. Di Thailand, sebanyak 6 pabrik mendapat lisensi untuk memproduksi bahan bakar etanol dari singkong. Kapasitas produksi dari 6 pabrik tersebut adalah 702 juta L/tahun, membutuhkan 4,13 juta ton/tahun singkong. Thailand adalah eksportir terbesar singkong di Asia. Produksi rata-rata tahunan adalah 20 juta ton/tahun: Sekitar 8 juta ton untuk konsumsi pati dalam negeri; 8 juta ton lainnya (chip singkong) untuk ekspor; 4 juta ton yang tersisa dapat digunakan untuk etanol. Oleh karena itu, produksi singkong untuk pangan dan untuk etanol seimbang sekarang. Kawasan budidaya singkong adalah sekitar 1 juta ha. Perluasan lahan pertanian adalah dilarang, namun petani bisa menanam tanaman yang berbeda jika diizinkan oleh pemerintah. Di masa depan, jumlah produksi singkong untuk etanol mungkin meningkat, sementara itu sering dikatakan bahwa pemanfaatan bioenergi mungkin bertentangan dengan produksi pangan, misalnya, permintaan internasional untuk etanol yang terus berkembang dapat mengancam stabilitas pasokan domestik makanan. Bahkan untuk produksi ubi kayu untuk makanan dan untuk etanol yang seimbang di Thailand sekarang, penggunaan masa depan untuk ubi kayu harus ditentukan secara hati-hati. Selain itu,

harga pasar singkong sangat menurun sebelumnya, sehingga dukungan keuangan oleh pemerintah untuk petani akan diperlukan dalam beberapa kasus.

### ***Informasi Lebih Lanjut***

The Japan Institute of Energy. "Report on the Investigation and Technological Exchange Projects Concerning Sustainable Agriculture and Related Environmental Issues," Entrusted by the Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries of Japan (Fiscal year of 2006) (2007)

## **6.6 Masalah yang harus dipertimbangkan**

### ***6.6.1 Keanekaragaman hayati (Sebuah contoh dari produksi kelapa sawit)***

#### **(a) Ringkasan dari produksi kelapa sawit**

Tentang pemanfaatan biomassa, produksi minyak sawit sekarang memberikan ancaman serius untuk keanekaragaman hayati di Malaysia dan Indonesia.

Malaysia dan Indonesia mencapai sekitar 85% dari produksi minyak sawit di dunia. Di Malaysia, perkebunan skala besar tiba-tiba mulai dikembangkan di tahun 1960. Pemerintah Indonesia mengeluarkan kebijakan yang menyatakan untuk menjadi negara penghasil minyak kelapa sawit terbesar di dunia, dan produksi termasuk pengembangan perkebunan skala besar dimulai pada tahun 1980-an. Dari tahun 1990 sampai 2002, area perkebunan kelapa sawit meningkat sekitar dua kali di Malaysia dan lebih dari 3 kali di Indonesia.

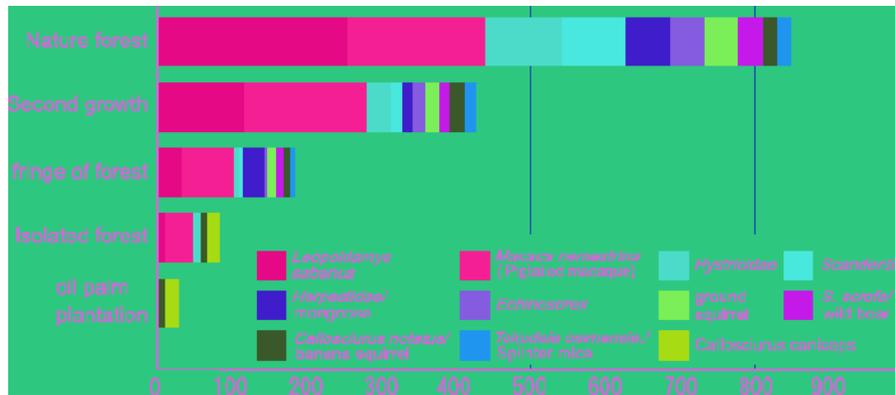
Ketika pengembangan perkebunan kelapa sawit berjalan, lahan yang sangat besar diperlukan untuk pengoperasian pabrik pengolahan kelapa sawit (skala perkebunan umum di Asia Tenggara adalah 10.000-25.000 ha), dan ada banyak hal termasuk hutan yang hancur dalam pengembangannya. Sekitar 87% deforestasi di Malaysia dari 1985-2000 dianggap sebagai pengembangan perkebunan kelapa sawit, dan dikatakan oleh Indonesia bahwa setidaknya 70% dari perkebunan menghilangkan hutan. Selain itu, perkebunan kelapa sawit dikembangkan lebih dan lebih lagi di sekitar zona penyangga seperti taman nasional, dan daerah-daerah biologis penting.

#### **(b) Produksi minyak kelapa sawit dan keanekaragaman hayati**

Perkebunan kelapa sawit tumpang tindih dengan hutan hujan tropis dataran rendah yang mana memiliki keanekaragaman hayati tertinggi di bumi, karena disitu, terletak "Hot

Spot", yaitu "daerah yang di ambang kehancuran meskipun memiliki keanekaragaman hayati yang tinggi pada skala bumi". Daerah ini merupakan daerah kecil tempat tinggal orangutan, harimau Sumatera, gajah Kalimantan, badak, tapir Malaysia dan sebagainya. Pengembangan perkebunan kelapa sawit merupakan ancaman terbesar bagi hutan hujan tropis yang langka di Asia Tenggara.

Dikatakan 80-100% dari mamalia, reptil dan burung menghilang ketika pengembangan perkebunan di hutan tropis. Menurut penyelidikan Miura et al., Lebih dari 400 jenis binatang liar ditemukan di hutan alam atau pertumbuhan kedua, tetapi perkebunan ingin menebang semua hutan dan membudidayakan hanya kelapa sawit saja, kurang dari 10 jenis ditemukan. (lihat di bawah)



Gambar 6.6.1. Perbandingan frekuensi munculnya binatang liar menggunakan pencitraan otomatis (di Malaysia).

**(c) Dampak lainnya karena produksi minyak sawit**

Di Indonesia, meskipun kontrol untuk penebangan ilegal diperkuat, izin pihak berwenang lebih mudah dikeluarkan untuk pengembangan perkebunan kelapa sawit. Beberapa dianggap menipu pihak berwenang untuk mendapatkan hak akses dari penebangan ilegal. Selanjutnya, pada saat pengembangan, pembakaran lahan sebenarnya ilegal dan sebagai hasilnya lapisan gambut ikut terbakar. Kemudian wilayah yang sangat besar menghilang dan ada pengaruh buruk bagi ekosistem. Dan CO<sub>2</sub> diproduksi dua ton milyar per tahun yang melebihi emisi Jepang. Ini merupakan penyebab besar perubahan iklim.

Selain yang dijelaskan di atas, pengembangan perkebunan kelapa sawit membawa dampak ketidakadilan kepada penduduk setempat tentang ketidakstabilan ekonomi, budaya dan sosial seperti masyarakat adat tergantung pada hutan serta hilangnya keanekaragaman hayati. Setelah operasional perkebunan dimulai, ada masalah dari pencemaran tanah dan sungai oleh pestisida dan pupuk kimia, erosi tanah, seperti masalah tenaga kerja upah rendah,

kerusakan pestisida, pekerja dibawah umur, pekerja ilegal, pencemaran air oleh cairan limbah dan residu zat atau pencemaran metana dan sebagainya.

### *6.6.2 Kompetisi penggunaan lahan*

Batas sumber daya manusia menggunakan biomassa menjadi jelas. Oleh karena itu, diperkirakan bahwa kompetisi antara penggunaan biomassa seperti makanan, bahan, dan energi akan menjadi parah, akibatnya kompetisi penggunaan lahan antara hutan, lahan pertanian, padang rumput, dan tanah lainnya akan menjadi parah, juga.

#### **(a) Kompetisi antara hutan, lahan pertanian, padang rumput, dan tanah lainnya.**

Hutan telah berkurang oleh aktivitas manusia selama bertahun-tahun. Kawasan hutan di dunia telah berkurang 1,2 miliar hektar sejak 1700. Terutama, kawasan hutan di Afrika Utara dan Timur Tengah, dan China menurun di bawah setengah. Pada periode yang sama lahan pertanian di dunia meningkat sebesar 1,2 milyar hektar. Pada periode yang sama, padang rumput di dunia menurun sedikit sekitar 70 juta hektar. Jadi, dalam sudut pandang sejarah, penggundulan hutan itu disebabkan oleh kenaikan lahan pertanian. Sebaliknya, wilayah hutan diubah menjadi lahan pertanian.

Mengenai perubahan penggunaan lahan sesudah tahun 1950, deforestasi di negara maju telah dihentikan dan daerah hutan di Eropa Barat dan Amerika Utara meningkat. Di sisi lain, di daerah berkembang seperti daerah tropis, Cina, dan Timur Tengah, deforestasi terus berlanjut. Alasannya konversi lahan pertanian dan padang rumput dan pertanian berpindah, dll.

Penggundulan hutan di daerah berkembang tidak hanya menyebabkan kerusakan lingkungan regional tetapi juga masalah lingkungan global seperti emisi CO<sub>2</sub>. Selain itu, di daerah dengan kepadatan penduduk tinggi dan industri dengan kecepatan tinggi seperti Jepang, Korea Selatan, dan Taiwan, lahan pertanian menurun. Hal ini karena di daerah-daerah tersebut permintaan lahan untuk perumahan dan pabrik meningkat dan pertanian tidak kompetitif di pasar pertanian global. Di Jepang lahan pertanian menurun sebesar 10% dari 5,0 juta hektar menjadi 4,6 juta hektar antara tahun 1976 dan 1991. Di Korea Selatan, lahan pertanian mengalami penurunan sebesar 6,6% pada periode yang sama.

#### **(b) Persaingan antara produksi pangan dan produksi tanaman energi**

Pada tanah yang subur, tanaman energi juga menghasilkan selain makanan. Di negara-negara di mana kelebihan lahan pertanian tersedia seperti Amerika Serikat dan Brazil, mereka bisa menggunakan lahan pertanian surplus tersebut untuk produksi tanaman energi daripada untuk bidang bera. Terutama, di negara-negara tersebut pada tahun 2006 sampai 2007

ketika harga minyak mencapai catatan sejarah, mereka memproduksi tanaman energi dan menghasilkan biofuel seperti bioetanol dan bio-diesel (BDF). Di Amerika Serikat mereka memproduksi bioetanol dari jagung dalam skala besar. Di Brazil mereka menghasilkan bioetanol dari tebu dalam skala besar. Selain itu, BDF diproduksi dari minyak nabati seperti minyak lobak dan minyak sawit.

Namun, karena tanah pertanian yang terbatas, produksi tanaman energi mengurangi lahan pertanian dimana tanaman pangan diproduksi. Hal ini menunjukkan bahwa produksi berlebihan tanaman energi dapat menyebabkan kekurangan makanan. Di samping itu, dijelaskan dalam bagian 6.7.5 bahwa persaingan antara produksi pangan dan produksi tanaman energi ditangani dalam model energi.

### ***Informasi lebih lanjut***

BIN (Biomass Industry Network) et al., “Bio-nenryo Riyo ni kansuru Kyodo Teigen”, 2007 (dalam bahasa Jepang)

The Japan Institute of Energy, “Biomass Yogo Jiten”, Ohmsha, 2004 (dalam bahasa Jepang)

Yamaji, K. et al., “Bioenergy”, Myosin Shuppan, 2000 (dalam bahasa Jepang)

## **6.7 Model-model Energi**

### ***6.7.1 Garis besar model energi***

Sebuah model energi adalah model matematika yang mengekspresikan sistem energi. Karena sistem energi termasuk produksi energi primer, transportasi energi, dan konversi energi cukup kompleks, sulit untuk mendapatkan wawasan tentang sistem energi yang diinginkan. Menggunakan model energi mereka dapat menganalisis sebuah sistem energi yang ekonomis dan struktur energi di masa depan.

Sebuah model energi dibagi menjadi dua jenis yang merupakan jenis simulasi dan jenis yang dioptimalkan. Jenis simulasi adalah jenis yang menyerupai komposisi sistem energi di masa depan yang di deduktif dari kondisi awal dari sistem energi dan berbagai macam asumsi eksogen seperti penduduk di masa depan dan tingkat pertumbuhan ekonomi.

Jenis optimasi adalah jenis yang menggunakan teknik optimasi matematika dan menemukan sistem energi yang optimal dibawah kendala eksogen. Standar optimal yang umum adalah minimalisasi biaya sistem energi dan memaksimalkan total konsumsi dalam

masyarakat. Hambatan eksogen yang umum adalah keterbatasan sumber daya energi dan data teknologi konversi energi.

### *6.7.2 Model umum energi*

Model-model energi yang digunakan untuk studi kebijakan tentang energi dan lingkungan dikembangkan seperti urutan berikut. Pertama, model energi yang berfokus pada teknologi energi khusus, yaitu teknologi besar yang membutuhkan rencana pengembangan jangka panjang dan biaya besar seperti teknologi nuklir.

Sejak paruh kedua tahun 1980 ketika pemanasan global menjadi topik yang penting, model energi yang mencakup sistem energi secara keseluruhan dan emisi CO<sub>2</sub> telah dikembangkan. Model energi pertama yang berfokus pada studi kebijakan tentang pemanasan global adalah model Edmonds-Reilly yang dikembangkan di Amerika Serikat yang merupakan model jenis simulasi. ETA-MACRO dan model DICE dikembangkan di Amerika Serikat adalah model optimasi yang mengevaluasi energi global, ekonomi, dan lingkungan. Selain itu, model GLUE yang dikembangkan di Jepang adalah model yang mengevaluasi potensi pasokan bioenergi global yang mempertimbangkan kompetisi penggunaan lahan dan aliran biomassa keseluruhan.

### *6.7.3 Model DNE21*

Model DNE21 adalah model optimasi yang dikembangkan untuk penilaian teknologi yang mengurangi pemanasan global. Model DNE21 didasarkan pada model NE21 (New Earth 21) yang dikembangkan untuk analisis numerik dari "Rencana Bumi Baru" diumumkan pada tahun 1990 oleh pemerintah Jepang. DNE21 adalah model dinamis yang meminimalkan biaya sistem energi inter-temporal di dunia. Dalam model tersebut dunia dibagi menjadi 10 wilayah dan sistem energi global sampai 2100 dianalisis. Dalam model, teknologi konversi bioenergi dianalisis secara rinci.

### *6.7.4 Model GLUE*

Model GLUE adalah singkatan dari *global land use and energy model* atau penggunaan lahan global dan model energi yang dikembangkan di Jepang. Model itu termasuk model simulasi merupakan model yang mengevaluasi potensi pasokan bioenergi di masa sekarang dan di masa depan. Dalam model, permintaan biomassa dihitung oleh data permintaan biomassa per kapita dan populasi. Potensial pasokan biomassa dihitung dengan data luas lahan

dan produktivitas lahan. Dalam model permintaan biomassa dan potensi pasokan biomassa dibandingkan dan surplus lahan pertanian dan potensi pasokan tanaman energi yang diproduksi di surplus lahan pertanian dihitung. Selain itu, model mengevaluasi potensi pasokan residu biomassa yang dikeluarkan dari proses aliran biomassa seperti produksi, pengolahan, konsumsi, pembuangan, dan daur ulang.

Versi terbaru dari model GLUE adalah jenis optimasi dan mengevaluasi tidak hanya potensi pasokan bioenergi tetapi juga teknologi pemanfaatan biomassa.

### *6.7.5 Kompetisi penggunaan lahan dalam model GLUE*

Dalam model GLUE, surplus lahan pertanian dengan mempertimbangkan kompetisi penggunaan lahan dihitung sebagai berikut. Permintaan biomassa dihitung dari populasi dan permintaan pangan per kapita. Potensi pasokan biomassa dihitung dari luas lahan untuk produksi biomassa dan produktivitas biomassa dari lahan. Kemudian, kelebihan lahan pertanian mempertimbangkan kompetisi penggunaan lahan dihitung dari permintaan biomassa dan potensi pasokan biomassa.

Rincian perhitungan tentang kompetisi penggunaan lahan adalah sebagai berikut. Pertama, permintaan pakan ternak yang dihasilkan dari pakan sereal dihitung dari permintaan pangan hewani dikurangi pasokan pakan ikan dikurangi pasokan pakan hewan dari padang rumput. Permintaan sereal dihitung dari permintaan pakan sereal ditambah permintaan sereal untuk makanan sayuran. Permintaan lahan untuk sereal dihitung dari permintaan sereal dibagi oleh produktivitas sereal. Lahan untuk produksi tanaman energi dihitung dari total lahan untuk produksi sereal dikurangi permintaan lahan untuk produksi sereal. Jika total lahan untuk produksi sereal lebih kecil dari permintaan lahan untuk produksi sereal, terjadi kekurangan pangan dan lahan untuk produksi tanaman energi adalah nol.

Akibatnya, dalam model GLUE diasumsikan bahwa prioritas tertinggi dalam kompetisi penggunaan lahan dari lahan pertanian adalah penggunaan lahan untuk produksi makanan sayuran. Yang berikutnya adalah penggunaan lahan untuk produksi pakan yang dikonversi untuk makanan hewan. Yang terakhir adalah penggunaan lahan untuk produksi tanaman energi. Dalam rangka untuk memperbesar pasokan total kalori, diasumsikan bahwa prioritas diberikan kepada pasokan pangan nabati dibanding suplai untuk makanan hewan.

### ***Informasi Lebih Lanjut***

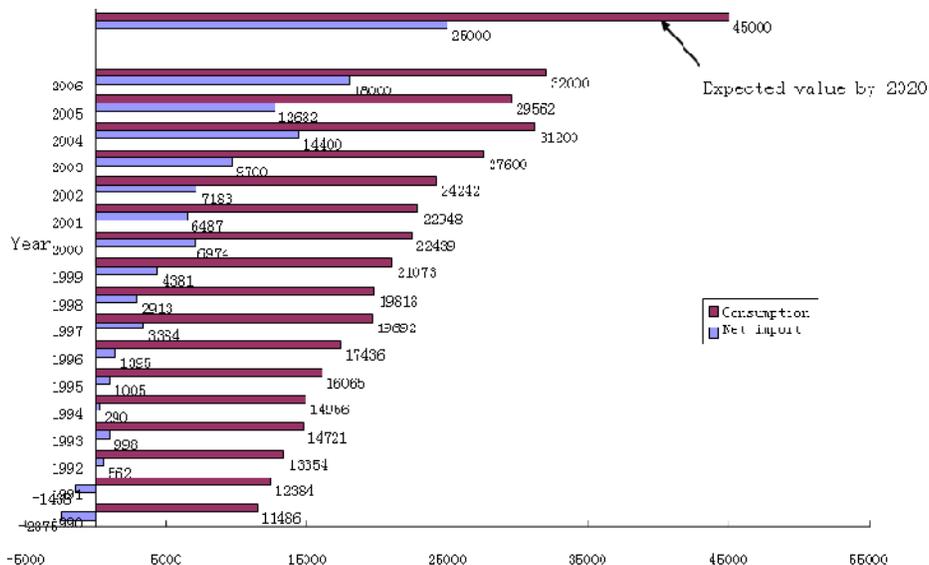
The Japan Institute of Energy, "Biomass Yogo Jiten", Ohmsha, 2004 (dalam bahasa Jepang)

# Bab 7. Situasi Biomassa di Negara-Negara Asia

## 7.1 Cina

### 7.1.1 Latar Belakang

Dengan perkembangan ekonomi yang pesat, permintaan energi juga meningkat pesat di Cina. Total konsumsi energi Cina sudah menempati tempat kedua di dunia. Gambar 7.1.1 menunjukkan tren konsumsi minyak Cina dan impor bersih dari tahun 1990-2006. Sejak tahun 1993 ketika Cina menjadi negara impor bersih minyak bumi, ketergantungan pada impor minyak meningkat dari 7,6% pada 1995 menjadi 47,0% pada tahun 2006. Hal ini diperkirakan bahwa pada tahun 2020 konsumsi dan impor minyak bumi di Cina masing-masing akan berjumlah 450 juta ton dan 250 juta ton, dengan ketergantungan 55% minyak bumi pada impor minyak bumi. Diperkirakan bahwa transportasi akan memberikan kontribusi pertumbuhan konsumsi minyak yang paling besar di masa depan. Dibandingkan dengan konsumsi minyak di bidang transportasi pada tahun 2000 yang menyumbang sekitar 1/3 dari konsumsi minyak bumi total, diperkirakan bahwa rasio akan meningkat menjadi 43% dan 57% pada tahun 2010 dan 2020.



Gambar 7.1.1. Tren konsumsi minyak Cina dan impor bersih 1990-2006.

### *7.1.2 Situasi pengembangan biofuel di Cina*

Karena pasokan bahan bakar yang tidak cukup dan persyaratan untuk hemat energi dan pengurangan emisi polutan, pemerintah nasional Cina memberikan perhatian lebih dan lebih untuk penelitian dan pengembangan biofuel. Hukum Energi Terbarukan Republik Rakyat Cina dikeluarkan pada tahun 2005.

Proyek bensin etanol dimulai pada tahun 2001 di Cina. Hanya ada empat pabrik diizinkan oleh pemerintah untuk memproduksi bahan bakar etanol berbasis makanan. Dukungan pemerintah memainkan peran penting pada simulasi pengembangan bensin etanol di Cina, terutama pada tahap inisiasi demonstrasi bensin etanol dengan kebijakan preferensial seperti insentif. Insentif meliputi: 1) Cukai bahan bakar ethanol terdenaturasi (5%) adalah gratis. 2) Pajak nilai tambah bahan bakar ethanol terdenaturasi dikenakan lebih dulu, dan kemudian diberikan kembali ke penyedia etanol. 3) Harga bahan bakar ethanol terdenaturasi yang dijual kepada perusahaan-perusahaan minyak yang juga operator pencampuran adalah  $(0,9111 \times \text{harga produsen dari } 90\# \text{ bensin})$ . Sementara harga pasar dari semua jenis E10 (90#, 93# atau 97#) adalah sama dengan 90#, 93# atau 97# bensin. 4) Tunjangan dibayarkan ke penyedia etanol. Insentif ini akan dieksekusi sampai 2008. Sekarang bensin etanol telah digunakan di 9 provinsi dan total konsumsinya 1,54 juta ton pada tahun 2006. Namun, untuk menjamin keamanan pangan, tidak ada lagi pabrik bahan bakar etanol berbasis makanan yang diizinkan lagi oleh pemerintah nasional Cina. Di masa depan, bahan baku, non-makanan, termasuk singkong, ubi jalar, sorgum manis dan lignoselulosa berpotensi untuk produksi bahan bakar etanol. Sebuah pabrik bahan bakar etanol 200.000 ton/tahun dengan singkong sebagai bahan baku di provinsi Guangxi telah diizinkan oleh pemerintah dan diharapkan untuk dapat memulai segera. Keempat pabrik bahan bakar ethanol yang adapun didorong untuk menggunakan bahan baku non-pangan juga.

Ada lebih dari 10 pabrik biodiesel di Cina. Jumlah produksi sekitar 100.000 ton/tahun. <Saham Campuran Biodiesel (BD100) untuk Bahan bakar Mesin Diesel> dikeluarkan pada Mei 2007. Namun belum ada kebijakan reguler untuk penjualan biodiesel seperti bahan bakar etanol. Beberapa biodiesel diunakan untuk pemanfaatan non-mesin. Satu masalah dalam pengembangan biodiesel di Cina sekarang adalah pasokan bahan baku. Cina perlu mengimpor lebih dari 6 juta ton minyak nabati per tahun. Tidak mungkin untuk menggunakan minyak nabati seperti minyak kedelai dan minyak rapeseed untuk produksi bio-diesel. Sekarang mayoritas pabrik biodiesel di Cina menggunakan limbah minyak sebagai bahan baku. Namun, dengan perkembangan biodiesel, harga limbah minyak menjadi semakin tinggi dan tinggi lagi.

Minyak kayu mendapatkan perhatian lebih dan lebih lagi. "program nasional pembangunan hutan diarahkan ke bioenergi" dan "rencana perkebunan bahan baku kayu berminyak untuk biodiesel selama Rencana Lima Tahun ke-11" dikeluarkan oleh Administrasi Kehutanan Negara Cina, yang menunjukkan bahwa 400.000 hektar jarak pagar akan ditanam di Yunnan, Sichuan, Guizhou dan provinsi Chongqing; 250.000 hektar *Pistacia Chinensis* akan ditanam di Hebei, Shanxi, Anhui dan provinsi Henan; 50.000 hektar *Cornus Wilsoniana* akan ditanam di Hunan, Hubei dan provinsi Jiangxi; 133.333 hektar *Xanthoceras Sorbifolia* akan ditanam di Mongolia dalam, Liaoning dan provinsi Xinjiang.

### *7.1.3 Kesimpulan*

Dengan perkembangan ekonomi yang cepat, kekurangan pasokan energi yang besar telah menjadi "*bottleneck*" pembangunan berkelanjutan di Cina. Saat ini isu penting yang harus dipecahkan adalah untuk mempercepat pengembangan energi biomassa sehingga dapat mengurangi tekanan terhadap sumber daya dan lingkungan. Selain itu, sebagai negara yang bertanggung jawab, Cina harus mengambil tanggung jawab internasional untuk menghemat energi dan mengurangi debit polusi. Oleh karena itu, industri energi biomassa menjanjikan dengan masa depan yang cukup cerah di Cina. Saat ini, konsumsi energi biomassa adalah 8% dari total konsumsi bahan bakar. Menurut "Rencana Pembangunan Jangka Menengah dan Panjang dari Energi Terbarukan" yang dikeluarkan pada tanggal 4 September 2007, persentase konsumsi energi biomassa akan meningkat menjadi 10% pada tahun 2010 dan 15% pada tahun 2020. Pada tahun 2010, konsumsi tahunan bahan bakar etanol berbasis non-biji-bijian akan mencapai 2 juta ton, dan biodiesel akan mencapai 200.000 ton di Cina, pada tahun 2020, konsumsi tahunan bahan bakar etanol akan mencapai 10 juta ton, dan biodiesel akan mencapai 2 juta ton di Cina.

## **7.2 Korea**

### *7.2.1 Jumlah sumber daya biomassa di Korea*

Sumber daya biomassa utama yang tersedia di Korea adalah limbah organik dan residu pertanian dan hutan. Jumlah potensi biomassa untuk pemanfaatan energi dirangkum dalam Tabel 7.2.1. Menurut data pada Tabel 7.2.1, jumlah total sumber daya biomassa yang tersedia

di Korea adalah sekitar 80 juta ton, hanya 30% dari sumber daya biomassa potensial saat ini yang dimanfaatkan untuk produksi energi.

Tabel 7.2.1. Sumber daya biomassa di Korea

| Sumber daya      | Potensi, $\times 10^3$ Mt/tahun | Dipulihkan, $\times 10^3$ Mt/tahun |
|------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| Limbah Hutan     | 7.830                           | 1.300                              |
| Limbah Pertanian | 16.000                          | 4.900                              |
| Sisa makanan     | 5.100                           | 5.100                              |
| limbah Kota      | 1.600                           | 260                                |
| limbah Hewan     | 47.000                          |                                    |
| Sludge           | 2.500                           | 280                                |
| Total            |                                 |                                    |

S.C. Park *et al.* (2007).

### 7.2.2 Kebijakan dan Mandat

Hukum Promosi Energi Baru dan Terbarukan yang disahkan pada tahun 2002 menyetujui bioenergi sebagai energi terbarukan dan mendukung pelaksanaannya. Pembebasan total cukai sekarang tersedia untuk biodiesel yang digunakan sebagai bahan bakar motor. Biaya cukai saat ini untuk diesel adalah sekitar \$ 0,5/L. Semua kilang minyak Korea harus mencampur sejumlah biodiesel dalam produk minyak diesel mereka (Tabel 7.2.2).

Tabel 7.2.2. Target wajib untuk pelaksanaan biodiesel (KMOCIE, 2007)

| Tahun                          | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| Kadar biodiesel dalam solar, % | 0.5  | 1.0  | 1.5  | 2.0  | 2.5  | 3.0  |

### 7.2.3 Target

Untuk bioenergi, target berikut telah ditetapkan oleh Departemen Perdagangan, Industri dan Energi Korea, (KMOCIE) pada tahun 2002 (Tabel 7.2.3).

Tabel 7.2.3. Target untuk implementasi bioenergi di Korea

| Tahun                    | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 |
|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Panas, $\times 10^3$ toe | 236  | 277  | 283  | 472  | 477  | 483  | 489  | 679  |
| Power, $\times$ GWh      | 1232 | 1848 | 2465 | 3081 | 3383 | 3697 | 4000 | 4313 |

### 7.2.4 Kegiatan Lain

#### - Biodiesel

Polusi udara yang parah di kota-kota besar Korea juga membantu pengenalan biodiesel di sektor transportasi karena bahan bakar campuran biodiesel dapat mengurangi emisi polutan udara dari kendaraan. Demonstrasi BD20 telah dimulai di Seoul Metropolitan dan Provinsi Chonbuk dari bulan Mei 2002 sampai bulan Juni 2006. Selama periode demonstrasi, beberapa pekerjaan penting telah dilakukan untuk menyelesaikan isu-isu kontroversial seperti kelayakan BD20 sebagai bahan bakar motor, penyusunan spesifikasi bahan bakar biodiesel dan pembentukan infra distribusi untuk bahan bakar campuran biodiesel. Setelah pengerjaan selama setahun, draft untuk standar yang memiliki 16 parameter spesifikasi dibuat. Angka-angka yang diambil dalam standar hampir sama dengan yang ada pada standar Eropa, EN14214. Tes armada yang sebenarnya juga telah dilakukan dengan BD5 dan BD20 yang dipersiapkan dengan biodiesel yang memenuhi standar biodiesel Korea selama dua tahun. Melalui tes armada, BD20 ditemukan tidak cocok untuk mobil penumpang. Sementara itu, tidak ada masalah teramati dengan penggunaan BD5. Jadi KMOCIE menyiapkan sistem distribusi baru biodiesel dan diterapkan dari Juli 2006 (Gambar 1). Menurut rencana baru, semua kilang minyak Korea harus membeli biodiesel 100.000 kl/tahun dan mencampurkannya ke produk diesel mereka dan memasok diesel campuran tersebut untuk semua pompa bensin. Hasilnya, semua minyak solar yang dijual di Korea mengandung sekitar 0,5% biodiesel. BD20 diperbolehkan untuk memasok armada yang memiliki pompa bensin sendiri.

Dengan dukungan yang kuat dari Pemerintah Korea pada implementasi biodiesel, bisnis biodiesel menjadi semakin aktif. Pasokan bahan baku yang stabil akan menjadi isu penting. Berbagai kegiatan sedang dilakukan untuk mengamankan pasokan yang stabil dari bahan baku untuk produksi biodiesel. Kegiatan-kegiatan ini meliputi demonstrasi budidaya rapeseed musim dingin untuk menentukan kelayakan produksi massal dalam negeri kanola dan perkebunan jarak di beberapa negara Asia Tenggara.



Gambar 7.2.1. Distribusi baru infra biodiesel di Korea.

### 7.3 Myanmar

Luas tanah Myanmar adalah 690,00 km<sup>2</sup> (1,8 kali lebih besar dari Jepang), dan merupakan negara terbesar di benua Asia Tenggara. Populasinya adalah 52 juta, dan beriklim tropis kecuali wilayah utara. Jadi, alamnya, biosistem, dan keanekaragaman hayatinya unik dan berharga. Myanmar juga menikmati sumber daya berlimpah seperti beras, sumber daya kehutanan, dan sumber daya mineral. Sekitar 70% dari penduduk bekerja di sektor pertanian dan mencakup 60% dari GDP, dan sektor industri memberikan kontribusi terhadap PDB hanya sebesar 10%. Secara politis, setelah Perang Dunia II, sistem demokrasi dicapai untuk sementara waktu, namun Kongres Nasional dihentikan oleh kudeta pada tahun 1996, dan Negara ini di bawah pemerintahan militer sejak saat itu. Hal ini secara politis tidak jelas, dan masalah ekonomi tetap ada, sehingga menjadi salah satu negara termiskin di dunia. Tidak ada hukum ditegakkan terkait dengan biomassa, tetapi semua residu digunakan karena kurangnya materi dan bahan bakar. Residu penggilingan digunakan sebagai bahan bakar, dan limbah ternak dan makanan digunakan sebagai pupuk, tidak meninggalkan sisa. Dalam arti, pemanfaatan biomassa sangat baik karena kemiskinan dalam masyarakat.

Dua contoh menarik dalam hal pemanfaatan sekam padi ditemukan selama inspeksi di tempat. Kekurangan listrik, infrastruktur yang tidak lengkap, dan kekurangan bahan bakar fosil menghasilkan pemanfaatan ketel uap dan mesin piston uap berbahan sekam padi (dibuat di Jerman, 1925) yang mendorong produksi padi yang bersih (sekitar 600 tempat). Namun, efisiensi termal dari ketel uap sangat rendah, dan konsumsi sekam padi cukup besar, jumlah itu menurun.

Contoh lain adalah dorongan dari pembersih padi skala kecil melalui gasifier sekam padi dan mesin gas, yang menyebar baru-baru ini. Semua merupakan gasifiers domestik, dan dari jenis *down-draft*. Sekam padi dipasok dari atas, dan abu akan dibersihkan dari bawah. Unsur-unsur lainnya adalah kombinasi dari *scrubber* air, filter, dan mesin gas, dan produk dari Myanmar. mesin diesel Jepang bekas (bus dan truk) dimodifikasi menjadi mesin gas dengan menukar nosel injeksi dengan steker pengapian. Output dari gasifiers umumnya berkisar antara 20-50 kW. Biasanya, 20 kW dihasilkan oleh pasokan sekam padi 30 kg/jam. Sekitar 100 jenis dari gasifikasi dan sistem pembangkit listrik seperti ini digunakan pada tahun 2000, dan diperkirakan bahwa sebanyak 300 digunakan pada tahun 2005. Pembangkit listrik gasifikasi yang dibuat oleh perusahaan di bawah Kementerian Perdagangan, Myanmar memiliki kapasitas output listrik sebesar 140-160 kW. Sistem ini dilengkapi dengan gasifier *down-draft*, jaket air pendingin di bagian bawah tungku, dan sistem pembersihan abu. Produk gas dicuci dengan *scrubber* air dan disimpan dalam tangki gas sebelum dipasok ke mesin gas. Pamflet tersebut mengatakan bahwa sistem ini dijual sekitar 350 kJPY (Harga-harga komoditas adalah 1/100 dari yang di Jepang). Komposisi dari produk gas ditunjukkan pada Tabel 7.3.1.

Tabel 7.3.1 Komposisi gas yang dihasilkan dari sekam padi

|                  |      |   |
|------------------|------|---|
| Karbon dioksida  | 12,6 | % |
| Karbon monoksida | 17,9 | % |
| Nitrogen         | 57,0 | % |
| Oksigen          | 0,9  | % |
| Hidrogen         | 8,8  | % |
| Metana           | 1,9  | % |
| Lain-lain        | 0,9  | % |

Produksi gasifier dilakukan di pabrik besi dengan beberapa karyawan, namun standarisasi produk dibuat, dan mereka memiliki beberapa persediaan produk. Myanmar masih memiliki banyak peraturan, dan biomassa dan residu lainnya diperlukan untuk digunakan karena kurangnya komoditas dan bahan bakar. Ampas tebu yang dihasilkan dari pabrik gula digunakan sendiri untuk pembangkit listrik. Sekam padi dan arang digunakan untuk berbagai tujuan, dan tidak ada residu yang tersedia. Salah satu penggilingan padi swasta sangat ingin untuk memperbaiki boiler sekam padi dan mesin uap untuk mencapai efisiensi yang lebih tinggi.

Baru-baru ini, penggilingan padi swasta secara bertahap menjadi semakin sibuk karena kebijakan ekonomi, meskipun untuk daerah yang tertentu. Kekurangan listrik dan bahan bakar

fosil akan terus berlanjut, dan diperkirakan gasifier skala kecil dan sistem mesin gas akan digunakan lebih dan lebih untuk mendukung penggilingan padi dan perangkat lainnya. Saat ini, produksi dan pengenalan biofuel belum dibuat, namun Myanmar memiliki area yang luas dan iklim yang baik dan memiliki potensi tinggi dalam menghasilkan sumber daya hutan dan tanaman perkebunan. Dalam jangka panjang, potensi untuk menghasilkan bioetanol dan biodiesel sangat menjanjikan seperti Thailand, Malaysia, dan Indonesia.

Bentuk yang tepat pemanfaatan biomassa berbeda dari kasus ke kasus tergantung pada kondisi alam, sosial, dan kondisi perekonomian, sehingga perencanaan yang mendalam diperlukan. Untuk mengumpulkan informasi terbaru untuk tujuan ini, kantor kolaborasi antara universitas dan sektor lain sangat diinginkan. Jenis jaringan kolaborasi antara universitas, organisasi akademik, NPO, dan organisasi internasional akan mendorong pemanfaatan biomassa skala kecil.

Myanmar adalah sebuah negara Buddhis dan memiliki tingkat pendidikan yang tinggi (tingkat kehadiran di sekolah: 96,56%, tingkat melek huruf: 93,3%). Perkembangan ekonomi mungkin lebih lambat diantara negara-negara ASEAN, namun untuk perkembangannya perguruan tinggi asing dan organisasi akademik dapat menjadi bantuan besar.

### ***Informasi Lebih Lanjut***

Myanmar Ministry of Information. Myanmar: Building a Modern State (2004)

Myat Thein. Economic development of Myanmar, Institute of Southeast Asian Studies, Singapore (2004)

San San Rice Husk Gasifier. San San Cooperative Ltd., No. 279, Shwegondine Road. Bahan Township, Yangon, Myanmar (2005)

The paddy husk gas generating plant. Myanmar Agricultural Produce Trading (MAPT). Ministry of Commerce, Yangon Division, Mingalartaungnyunt Township, Yangon (2003)

Makoto Hoki, Hideto Mashimo, "Tonan Ajia shokokuni okeru baiomasu riyono doko", J. Jpn. Inst. Energy, submitted. (dalam bahasa Jepang)

United Nations, Statistic Division, "Sekai tokei nenkan", Hara Shobo (2005). (dalam bahasa Jepang)

Shin-ichi Yano, "Ajiani okeru bioennryo seisan riyono tenboto sansokendeno seizo gijutu kaihatsu", Kankyo Gijutsu, 36(12), 7-12 (2007). (dalam bahasa Jepang)

## 7.4 Laos

Laos adalah negara pegunungan dengan populasi sekitar 5,6 juta, lebih dari 80% penduduknya hidup di daerah pedesaan dan terlibat dalam pertanian berbasis padi dan dalam pemanenan produk hutan. Basis ekonomi yang rendah merupakan salah satu yang paling tidak berkembang di Asia dengan perkiraan per kapita Produk Nasional Bruto sekitar US \$ 500 per tahun (2006).

Ekonomi Utama di Laos berasal dari Pertanian, Kehutanan, Pembangkitan Listrik, Pertambangan, Industri kecil dan pertanian berkontribusi 42,2% dari Produk Domestik Bruto, sedangkan Industri 31,5%, Jasa 25,4% dan Bea 0,9% (tahun 2006).

Laos diberkahi dengan sumber energi yang signifikan untuk pembangkit listrik. PLTA adalah bentuk paling berlimpah dengan biaya yang efektif. Sumber energi berkisar dari sumber energi tradisional seperti kayu bakar sampai batubara dan tenaga air. Kawasan hutan yang meliputi sekitar 40% dari total lahan merupakan sumber potensial untuk pasokan energi tradisional yang besar.

Sektor listrik Laos sedang dalam tahap kemajuan yang baik, yaitu 54,1% dari penduduk memiliki akses terhadap listrik pada tahun 2006. Namun konsumsi energi utama di Laos berasal dari kayu bakar untuk memasak.

Dalam rangka untuk memenuhi target pemerintah untuk meningkatkan rasio elektrifikasi rumah tangga menjadi 70% dari total rumah tangga pada tahun 2010 dan 90% pada tahun 2020, Pemerintah membuat Kebijakan Sektor Daya:

1. Mempertahankan dan memperluas pasokan listrik yang terjangkau, dapat diandalkan dan berkelanjutan di Laos untuk mempromosikan pembangunan ekonomi dan sosial;
2. Mempromosikan pembangkit listrik untuk ekspor untuk memperoleh pendapatan untuk memenuhi tujuan pembangunan GOL;
3. Mengembangkan dan meningkatkan kerangka hukum dan peraturan untuk efektif mengarahkan dan memfasilitasi pengembangan tenaga listrik, dan
4. Memperkuat institusi dan struktur kelembagaan untuk memperjelas tanggung jawab, memperkuat fungsi-fungsi komersial dan menyederhanakan administrasi

Dalam rangka untuk memenuhi target dan kebijakan tersebut, sekarang sehari ada lebih dari 50 MoU untuk pembangunan PLTA dengan kapasitas dari 5-1080 MW dan 6 proyek sedang dalam pembangunan, jika kita melihat pada rencana pengembangan tenaga air, kita bisa

melihat bahwa ada banyak limbah kayu di waduk yang harus dibersihkan dan jika kita memiliki teknologi yang baik dan modal investasi maka kita bisa membangun proyek biomassa kogenerasi di Laos.

Laos mengimpor bahan bakar fosil 100%, saat ini ada 3 perusahaan yang melakukan survei untuk gas alam dan minyak dan dibutuhkan waktu sekitar 10 tahun untuk mendapatkan semua informasi dan untuk produksi gas alam dan minyak (jika mungkin), untuk pengurangan impor bahan bakar fosil dan efisiensi konsumsi bahan bakar yang tinggi, pemerintah Laos juga mendukung biofuel sebagai biodiesel dari jarak pagar dan minyak sawit dan bioetanol dari tebu.

Setelah pemerintah mengumumkan promosi biofuel, ada beberapa perusahaan yang memulai bisnis dengan perkebunan jarak pagar untuk menghasilkan biodiesel, investor terbesar adalah perusahaan Pertanian Kolao, target mereka adalah menanam Jarak Pagar 40.000 hac, pabrik sedang dalam konstruksi, jauh dari Kota Vientiane sekitar 70 km.

Perusahaan kedua adalah perusahaan LaoBiodiesel yang baru saja memulai pembangunan pabrik di provinsi Champasak pada 10 Maret 2008 dan perkebunan mereka seluas 100 hac untuk *Jatropha*.

Ada dua perusahaan yang berinvestasi pada minyak sawit, yang pertama di provinsi Champasak dengan perkebunan 25 hac, perusahaan ini mulai pada tahun 2006 dan yang kedua di provinsi Bolikhamsay dengan perkebunan 20 hac perusahaan ini mulai pada tahun 2006.

Perusahaan lain yang berinvestasi pada jarak pagar untuk biodiesel adalah perkebunan kecil. Di bawah kerjasama sektor Energi Laos - Thailand, Departemen Energi Thailand memberikan satu set peralatan produksi Biodiesel dari *Jatropha* kepada Menteri Energi dan Pertambangan untuk demonstrasi.

Promosi biodiesel jauh lebih populer daripada bioethanol karena biaya investasi dan teknologi bioetanol tinggi dan sekarang hanya ada satu pabrik gula kecil yang ada di Laos, ada dua pabrik lainnya sedang dibangun di provinsi Savannaketh.

Karena tidak ada dokumen apapun untuk promosi biofuel di Laos, Departemen Listrik, Kementerian Energi dan Pertambangan meminta Organisasi Energi Baru dan Pengembangan Teknologi Industri (NEDO), Kantor Perwakilan di Bangkok guna mendukung keuangan untuk menyewa Institut Energi Terbarukan Laos di Laos (LIRE) untuk melakukan survei dan menyusun rekomendasi Strategi dan Kebijakan untuk Promosi Biodiesel di Laos.

Target pemerintah untuk mengurangi konsumsi bahan bakar fosil 5% dengan promosi produksi biodiesel.

Rincian Strategi dan Kebijakan akan dikembangkan lebih lanjut.

## 7.5 Brunei Darussalam

### 7.5.1 *Lingkup umum*

Brunei memiliki sejumlah besar sumber daya bahan bakar fosil seperti minyak dan gas alam, dan memperoleh setengah dari PDB-nya dengan mengekspor sumber daya ini untuk menikmati ekonomi yang baik. Jadi, mereka tidak memiliki begitu banyak minat dalam pengembangan biofuel.

Sementara itu, luas lahannya kecil (5.770 km<sup>2</sup>), dan lahan pertanian sangat kecil, sehingga sebagian besar makanannya diimpor. Rencana pembangunan Nasional selalu bertujuan untuk perbaikan diri pada tingkat pasokan makanan. Namun, sejak kemerdekaan pada tahun 1984, sektor pemerintah dikembangkan dan pekerjaan berpenghasilan tinggi yang stabil tersedia, yang mengarah pada pengurangan masyarakat dari pertanian. Secara umum, pertanian stagnan, dan produktivitas di dalam total PDB hanya 2,7%.

### 7.5.2 *Kondisi alam Brunei*

Seluruh negeri termasuk dalam iklim tropis. Hutan hujan tropis menempati 80% dari lahan nasional (4.690 km<sup>2</sup>). Tujuh puluh persen adalah hutan perawan, dan setengahnya digunakan untuk menjaga kelestarian lingkungan. Daerah di Brunei dibagi menjadi wilayah timur dan barat, dan wilayah timur, daerah aliran sungai Templon, adalah hutan belum berkembang kecuali pantai, dan membentuk taman nasional yang luas. Sebagian besar penduduk tinggal di tiga distrik di wilayah barat.

Produktivitas pertanian negara-negara Asia Timur termasuk Brunei termasuk rendah bila dibandingkan dengan daerah hujan. Tanah tropis mudah kehilangan hara garam, dan tidak cocok untuk pertanian. Daun dan pohon yang ditebang akan segera terurai oleh mikroba dan rayap, dan tidak meninggalkan humus. Selain itu, sebagai efek dari panas dan air, komponen tanah selain dari aluminium oksida dan besi oksida mudah hilang, dan tanah menjadi tandus. Di hutan hujan, nutrisi untuk mendukung hutan dikumpulkan tidak oleh tanah, tetapi oleh pohon-pohon dan tanaman di kanopi.

Pertanian skala kecil termasuk pertanian padi kering di hutan di wilayah pegunungan dan penanaman padi di sawah bertingkat. Untuk jangka pendek, taros diproduksi oleh lumpur dan membakar bekas pertanian untuk menggunakan nutrisi yang dikumpulkan oleh biomassa hutan, tapi ini menghancurkan hutan, yang merupakan kolektor hara utama, dan nutrisi tanah habis dalam 2 tahun, dan setelah itu tanah menjadi tandus.

Pada lahan rendah yang basah di mana nutrisi yang tercuci disimpan, perkebunan sagu menjadi memungkinkan. Hutan rawa muncul pada jenis tanah ini. Hutan rawa ini terdiri atas pohon-pohon dengan ketinggian rendah, dan tanaman tumbuh hanya pada satu lapisan. Hal ini menyebabkan pasokan cahaya yang baik, tetapi karena oksigen dalam tanah kurang, dekomposisi humus dicegah, dan gambut terbentuk. Jadi, bahkan jika lahan pertanian dibuat, permukaan mulai tenggelam segera untuk membentuk genangan. Pertanian sulit di wilayah ini.

Di pantai ada hutan mangrove pada daerah air payau di mana air laut datang dan pergi dengan air pasang tinggi dan rendah. Tanah hutan ini sangat asam karena asam akar yang dikeluarkan oleh akar mangrove. Tanah ini tidak dapat digunakan untuk pertanian “lumpur dan bakar”, dan tandus dalam hal pertanian. Hingga sejak abad ke-20 akhirnya mereka terbiasa untuk pembibitan ikan.

### *7.5.3 Kebijakan Brunei*

Dalam rencana 5-tahun ke-7 (tahun 1996-2000) termasuk aktivasi pertanian untuk meningkatkan diri pada pasokan berbagai produk pertanian, namun tingkatannya tetap pada 20%, membuat pengembangan biofuel sangat sulit.

Hasil rencana studi untuk meningkatkan teknologi kultur dan sistem produksi yang sesuai dengan kondisi alamiah negeri tersebut sehingga permintaan pangan meningkat dari tahun ke tahun harus dipenuhi. Ini melanjutkan pengenalan teknologi baru seperti budidaya air, dan memperluas daerah pertanian. Untuk melanjutkan budidaya air, setengah dari biaya yang dibutuhkan untuk alat dan pupuk akan didukung. Kementerian Pertanian menyetujui zona pengembangan lahan baru pada tahun 2000, yaitu untuk produksi sayuran (50 ha), buah-buahan (500 ha), dan ternak (100 ha).

Upaya untuk memperbaiki tingkat pasokan makanan akhirnya menunjukkan pengaruh. Pada tahun 2004, produksi telur melebihi 100 juta telur/tahun, dan ayam melebihi 13 juta, mencapai hampir 100% dari tingkat kebutuhan. (Catatan sebagian besar pakan diimpor). Namun, tingkat pasokan makanan lain masih rendah: sayuran tropis 53%, susu 13%, daging sapi 3,85, kambing 3%, tanaman lain 2%, beras 1%. Pertanian harus jauh lebih berkembang.

### *7.5.4 Karakteristik produk biomassa*

Sagu (*Metroxylon sagu*) adalah khas daerah ini. Sagu menghasilkan sejumlah besar pati.

Produksi sago didistribusikan dari Asia Tenggara ke Oseania. Brunei diklasifikasikan sebagai daerah sago bersama dengan Pulau Sulawesi dan Maluku. Ini adalah daerah di mana pati sago memasok beberapa puluh persen dalam penyediaan pati utama.

Sagu termasuk dalam keluarga palmae, tetapi merupakan angiosperma yang unik karena tepung dapat diperoleh dari batangnya. Setelah 16 tahun dari perkebunan, atau 10 tahun di bawah kondisi yang baik, membentuk batang dengan diameter 40-60 cm, dan tinggi 12-15 m dan menyimpan pati dengan kemurnian yang tinggi di dalamnya dalam rangka persiapan untuk pembungaan dan pembuahan. Semua pati ini digunakan untuk berkembang biak, dan pohon itu kemudian mati, meninggalkan benih. Pohon ditebang sebelum berbunga ketika jumlah patinya paling banyak, dan batangnya dipotong dengan panjang kurang dari 1 m. Batang ini memiliki kulit dengan ketebalan beberapa sentimeter. Batang kemudian dipotong secara vertikal, dan empulur pati yang menempel di serat didalam batang diambil keluar. Pati diperoleh dengan melonggarkan empulur, mencucinya dengan air, dan menghilangkan serat dengan jaring, pati kemudian mengalir bersama dengan air. Dengan cara ini, 300-500 kg-basah (100-150 kg-kering) pati tersedia dari satu pohon dewasa.

Keuntungan perkebunan sago adalah kemudahan pekerjaan dan jumlah besar pati yang diperoleh dengan jumlah pekerja sedikit. Sagu dapat dibudidayakan dengan tanah gambut, yang sebagian besar tanaman tidak dapat tumbuh, dan perkebunan sago tidak memperburuk kondisi tanah. Sagu merupakan tanaman yang paling cocok untuk daerah pantai wilayah hutan hujan.

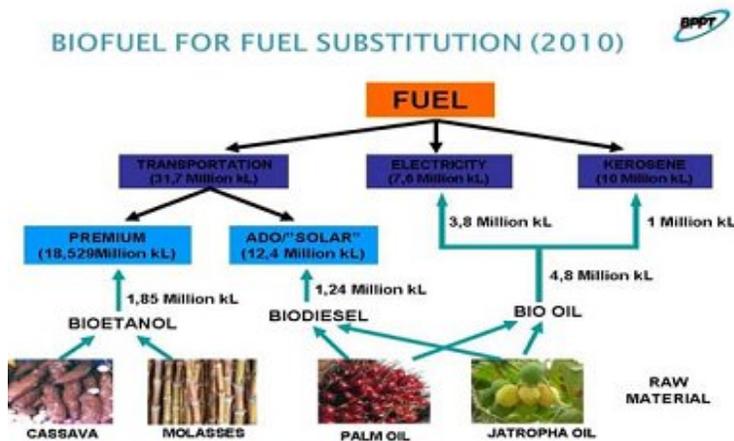
Produksi etanol dari pati sago secara teknis mudah, tetapi tingkat pasokan daerah ini sangat rendah, dan produksi pati untuk biofuel tidak praktis.

### ***Informasi Lebih Lanjut***

Sano,H.in "Biomass Handbook", Japan Institute of Energy Ed.,Ohm-sha,2002,p.37. (dalam bahasa Jepang)

"Baiomasu yogo jiten", Japan Institute of Energy Ed.,2006,p.178. (dalam bahasa Jepang)

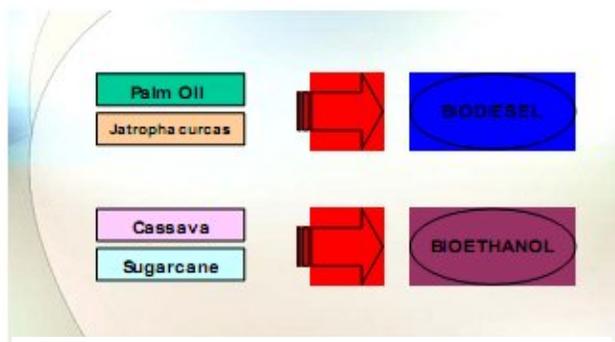
## 7.6 Indonesia



Sumber: Sony, 2007

Gambar 7.6.1. Biofuel untuk substitusi bahan bakar

mendominasi konsumsi domestik, sekitar 52%, diikuti oleh gas alam, batubara, tenaga air dan panas bumi. Pemanfaatan biofuel sendiri masih sangat rendah. Dalam rangka untuk menyeimbangkan bauran energi akhir dan sebagai alternatif minyak sebagai penyumbang terbesar energi, Pemerintah Indonesia telah menetapkan bahwa pada tahun 2025, biofuel diharapkan dapat memberikan kontribusi setidaknya 5% dari Energi Mix Nasional. Sebagai tujuan jangka menengah, pada tahun 2010 biofuel ditargetkan mengambil bagian sebagai sumber energi di rumah tangga dan sektor komersial, transportasi dan sektor pembangkit listrik. Biofuel akan menggantikan peran minyak. Hal ini dapat dilihat pada diagram (Gambar 7.6.1). Untuk sektor transportasi, biofuel dalam bentuk bioetanol akan memberikan kontribusi 1,85 juta kL dari bauran energi transportasi, biodiesel 1,24 juta kL dan *bio-oil* 4,8 juta kL pada



Gambar 7.6.2. Bahan baku biofuel.

Indonesia memiliki berbagai sumber energi seperti minyak, gas alam, batubara, tenaga air, panas bumi, surya dan juga biomassa. Namun, Indonesia masih memiliki masalah yang sampai sekarang penggunaan energi primer dalam bauran energi masih tidak seimbang. Sebagian besar minyak dalam bauran energi masih

tahun 2010. Bersama-sama, ringkasan dari biofuel akan mencapai 10% dari bauran energi, hanya di sektor transportasi. Untuk rumah tangga dan sektor komersial dan pembangkit listrik, biofuel akan digunakan dalam bentuk minyak tanah dan *bio-oil* atau PPO.

Potensi tinggi untuk bahan

baku biofuel di Indonesia didukung oleh berbagai bahan baku biofuel yang dapat dikembangkan. Kelapa sawit dan jarak pagar dikembangkan sebagai bahan baku untuk biodiesel, sedangkan singkong dan tebu dimanfaatkan sebagai bahan baku untuk bioetanol (Gambar 7.6.2). Namun, sebagaimana disebutkan sebelumnya, Indonesia juga terbuka untuk pengembangan bahan baku biofuel lain seperti jagung, sagu, gula aren dan sorgum manis untuk bioetanol dan kelapa untuk biodiesel, tergantung pada potensi bioenergi daerah. Lahan potensial untuk zona biofuel khusus telah ditentukan oleh pemerintah dan ditunjukkan pada Gambar 7.6.3.



| No | Lokasi                                      | Komoditas                                 |
|----|---|---|
| 1  | Pacitan – Wonogiri – Wonosari (Pawonsari)   | Singkong                                  |
| 2  | Garut – Cianjur – Sukabumi Selatan          | Singkong                                  |
| 3  | Lebak – Pandeglang                          | Jarak Pagar                               |
| 4  | Lampung – Sumsel – Jambi                    | Singkong, Tebu, Jarak pagar, Kelapa sawit |
| 5  | Riau  | Kelapa sawit                              |
| 6  | Aceh  | Singkong, Tebu, Jarak pagar               |
| 7  | Kaltim                                      | Jarak pagar, Kelapa sawit                 |
| 8  | Sulsel – Sultra – Sulteng – Gorontalo       | Singkong, Tebu, Jarak pagar, Kelapa sawit |
| 9  | NTB – NTT                                   | Singkong, Jarak pagar                     |
| 10 | Maluku Utara                                | Tebu, Jarak pagar                         |
| 11 | Papua Utara dan Irijabar                    | Kelapa sawit                              |
| 12 | Merauke – Mappi – Boven Digul – Tanah Merah | Singkong, Tebu, Jarak pagar, Kelapa sawit |

Gambar 7.6.3. Potensi lahan untuk zona khusus biofuel.

Sumber daya biomassa Indonesia terutama dari sektor kehutanan (sebagai sumber daya alam penting karena merupakan hutan hujan tropis), perkebunan, tanaman pertanian dan limbah pemukiman (kota). Dari tanaman perkebunan, salah satu sumber daya biomassa yang paling penting (serta untuk energi alternatif) adalah perkebunan kelapa sawit (*Elaeis guineensis*). Indonesia adalah negara terbesar kedua penghasil minyak sawit di dunia, setelah Malaysia, (dengan total lahan perkebunan sekitar 6 juta hektar dan produksi Crude Palm Oil (CPO) 15 juta ton pada tahun 2006, lihat Gambar 7.6.4 Area dan produksi perkebunan kelapa sawit Indonesia) yang mewakili 18% dari produksi seluruh dunia. Industri kelapa sawit Indonesia terus berkembang pesat dengan menggunakan pabrik besar yang memproduksi

ratusan ton limbah sepanjang tahun. Kesempatan besar ada di Indonesia dan negara-negara lain untuk menghasilkan jumlah yang signifikan dari biofuel, (untuk 100.000 ton CPO akan menghasilkan 100.000 ton biodiesel dan 12.000 ton gliserol), dan uap & listrik dari biomassa sisa serta mengurangi dampak lingkungan baik lokal maupun global .

Limbah minyak kelapa sawit yang dihasilkan dari proses produksi minyak kelapa sawit adalah: tandan buah segar (TBS) atau buah kelapa sawit memproduksi minyak sawit mentah (CPO) dan Kernel kelapa sawit (PKO) yang dapat dimanfaatkan untuk memproduksi biodiesel atau untuk menghasilkan uap dan tenaga.

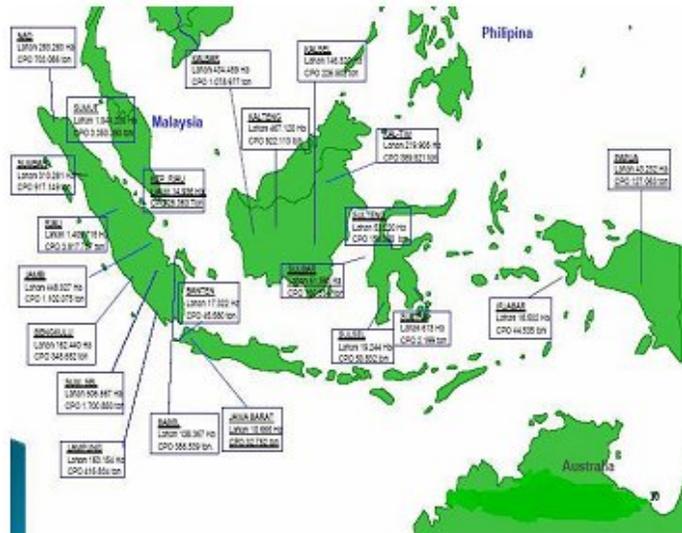
Iklm Indonesia juga terkenal sangat cocok untuk tebu (*Saccharum officinarum*). Indonesia adalah negara terkaya untuk genetika tebu dan diyakini sebagai asal tebu dunia (Papua).

Setidaknya 2 juta hektar lahan cocok untuk kebun tebu yang tersebar di Papua (mayoritas), Kalimantan, Sumatera, Maluku dan Jawa. Dengan perencanaan, kebijakan dan pengembangan yang tepat, sangat mungkin Indonesia di masa depan akan menjadi salah satu negara eksportir gula dan juga sebagai produsen bioetanol (mirip dengan Brazil).

Singkong (*Manihot esculenta*), dikenal sebagai salah satu bahan baku bioetanol saat ini dibudidayakan secara intensif oleh petani terutama di daerah Lampung, Jawa dan NTT. Daerah pembudidayaan berkisar 1,24 juta hektar di seluruh Indonesia dan produksinya 19,5 juta ton pada tahun 2005. Konversi singkong untuk bioetanol adalah 6.5:1 atau 1 ton singkong akan menghasilkan 166,6 liter bioetanol.

Jarak pagar (Inggris *Physic nut*) - sumber lain biomassa untuk biofuel, tidak seperti kelapa sawit dan singkong, benihnya tidak bisa dimakan dan oleh karenanya minyaknya juga, sehingga tidak ada persaingan antara bahan bakar vs makanan.

Selama penjajahan Jepang (1942-1945), penanaman jarak adalah wajib bagi orang-orang pribumi. Itu sebabnya tanaman jarak masih bisa ditemukan hari ini di bagian timur pulau, seperti provinsi NTT dan NTB.



Gambar 7.6.4. Area dan produksi perkebunan kelapa sawit Indonesia.

Sumber: Wahono, 2007

Berbagai nama lokal telah diberikan kepada jarak pagar, seperti: nawaih nawas (Aceh), jarak kosta (Sunda), jarak gundul, jarak cina, jarak pagar (Jawa), paku kare (Timor), peleng kaliki (Bugis), dll.

Juga, ketika perkebunan jarak akan dikembangkan di lahan kritis atau lahan tandus memiliki dua langkah penting yang telah dicapai, yaitu aforestasi atau penanaman kembali dan upaya konservasi yang akan akibat dari perbaikan lingkungan lokal/regional. Dan juga minyak jarak dapat diekstraksi dan digunakan sebagai bahan bakar. Biasanya biji jarak mengandung rata-rata 1.500 liter minyak/ha/tahun, dengan produktivitas 5 ton per ha biji kering dan hasil minyak 30%.

R & D Institut Pertanian, Departemen Pertanian telah mengidentifikasi sekitar 19,8 juta ha lahan (lihat peta di atas, warna oranye) dari berbagai provinsi di Indonesia yang cocok untuk perkebunan jarak pagar, di mana 14.277.000 ha lahan dikategorikan sebagai sangat cocok dan

**Land suitability map for *Jaropha curcas* in Indonesia (1 : 1.000.000)**



5.534.000 ha cocok (warna hijau). Tanah yang cocok tersebar di 31 provinsi dengan yang terbesar berada di Kalimantan Timur, Sulawesi Tenggara, Jawa Timur, Kalimantan Selatan, Lampung, Papua dan provinsi Irian Jaya Barat. Diproyeksikan bahwa area budidaya pohon jarak di Indonesia akan mencapai hingga 3 juta ha pada tahun 2015.

Diharapkan bahwa minyak jarak sebagai bahan bakar akan memainkan peran penting di daerah pedesaan Indonesia, sehingga disebut "Desa Mandiri Energi", dan akhirnya untuk mencapai tujuan pengentasan kemiskinan & pengangguran.

Tentu saja Indonesia sebagai negara tropis memiliki banyak sumber daya biomassa lainnya yang dapat dikembangkan dan dimanfaatkan sebagai sumber energi seperti kelapa (*Cocos nucifera*), jagung (*Zea mays*), sorgum (*Sorgum bicolor* L.), *Arenga pinnata*, karet (*Hevea brasillensis*), bunga matahari (*Helianthus annuus*), nipa (*Nypa fruticans*), ubi jalar (*Ipomoea batatas* L.), sago (*Metroxylon sp.*) dan banyak lainnya.

### ***Informasi lebih lanjut***

- Andi Alam Syah. *Biodiesel Jarak Pagar*. PT AgroMedia Pustaka. Jakarta. 2006.
- Bambang Prastowo. *Sustainable Production of Biofuel Crops*. Indonesian Center for Estate Crops Research & Development. On Sustainable Aspect of Biofuel Production Workshop, Jakarta. June 21, 2007.
- Joachim Heller. *Physic nut*. IPGRI. Germany. 1996.
- Bambang Prastowo. *Sustainable Production of Biofuel Crops*. Indonesian Center for Estate Crops Research & Development. On Sustainable Aspect of Biofuel Production Workshop, Jakarta. June 21, 2007.
- Paulus Tjakrawan. *Indonesia Biofuels Industry*. Indonesia Biofuels Producer Association (APROBI). On Sustainable Aspect of Biofuel Production Workshop, Jakarta. June 21, 2007.
- Rama Prihadana et al. *Bioethanol Ubi Kayu : Bahan Bakar Masa Depan*. PT AgroMedia Pustaka. Jakarta. 2007.
- Rama Prihadana & Roy Hendroko. *Energi Hijau*. Penebar Swadaya. Jakarta. 2007.
- Soni S. W. *Energy Generation Opportunities from Palm Oil Mills in Indonesia*. 4th Asia Biomass Workshop. Kuala Lumpur, November, 2007.
- Sudradjat H.R. *Memproduksi Biodiesel Jarak Pagar*. Penebar Swadaya. Jakarta. 2006.
- Tim Nasional Pengembangan BBN. *Bahan Bakar Nabati*. Penebar Swadaya. Jakarta. 2007.
- Wahono Sumaryono. *Palm Complex Model: An integrated preliminary concept for sustainable plantation and CPO-based industries*. 4th Asia Biomass Workshop. Kuala Lumpur, November, 2007.

## **7.7 Kamboja**

### ***7.7.1 Sumber daya biomassa di Kamboja***

Sumber daya biomassa seperti limbah kayu dan limbah pertanian melimpah di Kamboja. Diperkirakan bahwa bahan bakar biomassa menyumbang sekitar 80% dari konsumsi energi nasional (MIME 2001) tetapi bahan bakar biomassa yang digunakan untuk pembangkit listrik terbatas untuk beberapa proyek skala kecil dan jumlahnya diabaikan di antara total produksi daya nasional. Biomassa kayu menyumbang lebih dari 95% dari energi biomassa yang digunakan di negara ini.

Menurut survey awal kami, sekam padi dan beberapa limbah pertanian lainnya, kayu karet tua terjadi sebagai hasil dari penanaman baru dan hutan kayu dari perkebunan dan hutan

alam memiliki potensi yang tinggi sebagai sumber energi untuk pembangkit listrik. Status sumber daya biomassa yang punya potensi tinggi tersebut dijelaskan di bawah ini:

**(i) Sekam Padi:** Pada tahun 2003, padi ditanam di 2,3 juta ha lahan dan 4,7 juta ton diproduksi (MAFF 2003). Program COGEN3 yang didanai oleh Komisi Eropa untuk mempromosikan penggunaan kogenerasi di negara-negara ASEAN telah melakukan studi pra-investasi untuk proyek potensial kogenerasi berbahan biomassa kapasitas listrik 1.5MW di penggilingan beras Angkor Kasekam Roongroeng di luar Phnom Penh.

**(ii) Cangkang Kacang Mete:** Mete *Anacardium occidentale* adalah sebuah pohon dalam keluarga tanaman berbunga, Anacardiaceae. Kacang mete adalah benih tunggal dari buah mete. Pohon jambu mete telah ditanam di lahan seluas 37.140 ha di Kamboja (MAFF 2004) dan jumlah petaninya meningkat. Produksi di Kamboja akan mencapai 14.000 ton / tahun.

**(iii) Limbah Pertanian Lainnya:** Bagas adalah sisa pengolahan gula dari tebu. Bagas mewakili 30% dari total berat tebu. Sistem pembangkit listrik menggunakan pembakaran langsung telah diperkenalkan secara luas ke pabrik pengolahan gula di negara-negara produsen gula. Kamboja menghasilkan 330.649 ton tebu pada tahun 2003. Produksi ubi kayu pada tahun 2003 adalah 330.649 t dan areal penanaman kelapa sebesar 27.054 ha. Produksi limbah kelapa dan singkong tidak diketahui. Produksi kacang tanah pada tahun 2003 sebesar 18.483 t. Kulit kacang mewakili sekitar 30% dari total berat kacang.

**(iv) Biomassa Berkayu dari Hutan:** 95% penduduk tergantung pada kayu bakar untuk memasak (NIS 1999) dan energi biomassa meliputi 86% dari total pasokan energi nasional (ADB 1996). Konsumsi total bahan bakar kayu diperkirakan sekitar 6 juta m<sup>3</sup>, sementara produksi kayu bulat diperkirakan 1,5 juta m<sup>3</sup> pada 1995 (Bank Dunia dan lain-lain 1995).

**(v) Perkebunan:** Ada Total 11.125 ha tanaman hutan terutama *Acacia spp.* dan *Eucalyptus spp.* di Kamboja (2003). Tujuan dari perkebunan pada umumnya adalah untuk produksi bahan Chip kayu untuk ekspor.

**(vi) Pertanian Pohon:** Pertanian pohon menggunakan spesies yang dapat tumbuh dengan cepat adalah metode yang tepat untuk memasak biomassa untuk listrik tingkat desa. Anlong Ta Mei Komunitas Koperasi Energi di provinsi Battambang, merupakan satu-satunya pembangkit listrik biomassa yang beroperasi secara praktis di Kamboja menggunakan sistem pertanian pohon untuk pasokan bahan bakar.

**(vii) Masyarakat Kehutanan:** Hutan kemasyarakatan (CF) diakui sebagai strategi penting untuk mengelola hutan secara berkelanjutan di Kamboja. Sebagian besar kegiatan CF adalah mengelola hutan primer atau hutan yang sudah rusak daripada reboisasi dengan penanaman kembali.

### *7.7.2 Kondisi terkini elektrifikasi biomassa yang digunakan di Kamboja*

Ada fasilitas pembangkit listrik berbahan bakar biomassa di Kamboja.

#### **(i) Pusat Pengembangan Peternakan dan Pertanian (CelAgrid)**

CelAgrid adalah sebuah institut yang melakukan berbagai penelitian tentang pembangunan pedesaan terutama berdasarkan pada teknologi pertanian. Ada 17 staf akademik dan 40 siswa yang bekerja di institut. Mereka membeli 9 kWe (gross) sistem pembangkit listrik gasifikasi biomassa dari Ankur Scientific (India) pada September 2004. Institut ini sekarang sedang melakukan penelitian tentang membandingkan biomassa berbeda seperti sabut kelapa, batang singkong, batang murbei dan pohon Cassia untuk kesesuaian dan efisiensi gasifikasi.

#### **(ii) Komunitas Proyek Energi Anlong Ta Mei**

Desa Anlong Ta Mei (Distrik Bannan, Provinsi Battambang) proyek energi kerjasama masyarakat adalah satu-satunya pemasok listrik berbasis biomassa yang beroperasi untuk mendapatkan keuntungan daripada penelitian. Proyek ini memperkenalkan sistem pembangkit listrik gasifikasi biomassa 9 kWe (model yang sama seperti CelAgrid) dan mendirikan sebuah jaringan mini. Mereka menggunakan cabang *Leucaena* untuk bahan bakar. Mereka mulai operasi pada Februari 2005.

#### **(iii) NEDO dan Proyek Biogas Hybrid Power Generation**

Pada bulan Desember 2003, NEDO dari Jepang menyelesaikan pembangunan pembangkit listrik sistem hibrida yang terdiri atas fotovoltaik surya (50 kW) dan 2 x 35kWe mesin biogas berbahan bakar ganda dekat Sihanoukville. Biogas diekstrak dari kotoran sapi dari peternakan. Sistem tersebut saat ini beroperasi tetapi proyek ini dianggap hanya sebagai demonstrasi dan penelitian dan secara ekonomis belum akan layak.

### *7.7.3 Kayu dan penggunaan biomassa lain di Kamboja*

- 94% dari kayu bakar digunakan secara langsung sebagai bahan bakar,
- 6% dari kayu bakar diubah menjadi arang,
- 90% dari total pasokan kayu bakar dikonsumsi secara langsung oleh rumah tangga di daerah pedesaan,
- 8% dari total pasokan kayu bakar digunakan dalam rumah tangga perkotaan lainnya,
- Kurang dari 1% dari total pasokan kayu bakar digunakan di sektor industri,
- Kurang dari 1% dari total pasokan kayu bakar digunakan di sektor jasa
- Biomasa lainnya seperti kayu, limbah kayu dan sekam padi digunakan oleh kiln bata, toko roti, dan pengolahan makanan,
- Sekam tebu, daun palem dan daun pohon digunakan oleh produsen gula tebu dan gula kelapa,
- Cabang kelapa, sabut kelapa dan sekam padi digunakan oleh rumah tangga pedesaan untuk memasak makanan hewan,
- Beberapa rumah tangga pedesaan menggunakan dahan kelapa, daun palem, jerami padi dengan kotoran sapi, sekam padi dan limbah kayu untuk memasak makanan mereka.
- Mereka menggunakan biomasa ini secara langsung.

## **7.8 Malaysia**

Di Malaysia, sumber biomassa terutama berasal dari kelapa sawit, kayu dan agroindustri. Semua limbah ini datang dalam berbagai bentuk seperti limbah pabrik kelapa sawit, ampas tebu, sekam padi dan limbah kayu/hutan. Sumber utama dari biomassa berasal dari limbah kelapa sawit dalam bentuk tandan buah kosong (EFB), serat, cangkang, batang, daun dan limbah cair pabrik kelapa sawit (POME). Kandungan energi dalam limbah berbeda satu sama lain. Hal ini terutama karena nilai kalori, kadar air dan beberapa parameter lain yang juga berbeda.

Seperti ditunjukkan dalam tabel di bawah ini, limbah kelapa sawit merupakan produk limbah biomassa terbesar di negara ini. Hal ini karena limbah pabrik kelapa sawit yang mudah tersedia dan saat ini membutuhkan cara yang efektif dalam pembuangan. Saat ini, sebagian besar limbah dibuang melalui pembakaran dan pembuangan. Sebagian kecil digunakan sebagai bahan bakar untuk kebutuhan panas dan daya pabrik dengan cara yang sangat tidak efisien.

Tabel 7.8.1. Biomassa dan potensi sumber daya energi

| Sektor              | Jumlah kton/th | Potensi Tahunan Generation (GWh) | Kapasitas Potensial (MW) |
|---------------------|----------------|----------------------------------|--------------------------|
| Penggilingan Padi   | 424            | 263                              | 30                       |
| Industri Kayu       | 2177           | 598                              | 68                       |
| Pabrik Kelapa Sawit | 17980          | 3197                             | 365                      |
| Ampas tebu          | 300            | 218                              | 25                       |
| POME                | 31500          | 1587                             | 177                      |
| Total               | 72962          | 5863                             | 665                      |

### *7.8.1 Pemanfaatan energi biomassa di Malaysia*

Sumber biomassa berlimpah yang datang terutama dari kelapa sawit, kayu dan agroindustri tersebut digunakan terutama untuk menghasilkan uap untuk kegiatan pengolahan dan juga untuk menghasilkan listrik. Bahan bakar biomassa berkontribusi sekitar 16 persen dari konsumsi energi di negara ini, dimana 51 persen berasal dari limbah biomassa kelapa sawit dan 27 persen dari limbah kayu. Kontributor energi biomassa lainnya adalah dari budidaya tanaman, limbah hewan dan perkotaan. Saat ini ada sekitar 400 pabrik kelapa sawit yang beroperasi, yang menghasilkan listrik sendiri dari limbah kelapa sawit tidak hanya untuk konsumsi internal mereka tetapi juga untuk daerah sekitar yang terpencil. Studi juga menemukan bahwa 75,5 persen dari potensi biomassa yang dapat dimanfaatkan di Malaysia belum digunakan dan terbuang.

### *7.8.2 Limbah kelapa sawit*

Industri kelapa sawit menghasilkan limbah selama panen, penanaman kembali dan proses penggilingan. Limbah yang berasal dari proses penggilingan adalah serat buah, cangkang dan tandan kosong (TKS). Limbah lainnya termasuk batang dan daun tersedia di sekitar perkebunan. Saat ini cangkang dan serat digunakan sebagai bahan bakar boiler untuk menghasilkan uap dan listrik untuk konsumsi pabrik itu. TKS ini kembali ke perkebunan untuk pemulsaan. Hal ini hanya dipraktikkan di perkebunan besar. Untuk pabrik kelapa sawit tua, TKS dibakar didalam tungku pembakaran untuk menghasilkan pupuk. Namun, masih ada pabrik kelapa sawit yang membuang TKS melalui metode penimbunan khususnya pabrik tanpa perkebunan yang cukup.

Limbah pabrik kelapa sawit (POME) adalah air limbah yang dibuang dari proses sterilisasi, proses penjernihan minyak kasar dan proses pemisahan campuran. Jumlah POME yang dihasilkan bergantung pada operasi penggilingan. Untuk pabrik kelapa sawit dengan pengaturan yang baik, diperkirakan bahwa 2,5 ton POME dihasilkan dari setiap ton minyak sawit mentah yang diproduksi. Nilai rata-rata untuk pabrik kelapa sawit Malaysia adalah 3,5 ton untuk setiap ton minyak sawit mentah yang diproduksi. POME mengandung bahan kimia dan biologis yang membutuhkan oksigen tinggi, padatan total dan memerlukan sistem pengolahan sebelum dapat dibuang ke lingkungan. Biogas dihasilkan dari pengolahan POME secara biologis. Komposisinya terutama metana (60-70%) dan karbon dioksida (30-40%). Nilai kalornya antara 4740-6560 kkal per Nm<sup>3</sup> dan pembangkitan listriknya adalah 1,8 kWh/cm<sup>3</sup> biogas. Beberapa perkebunan mempraktekkan sistem manajemen tanpa limbah.

Tabel 7.8.2. Rasio produk limbah dan potensi pembangkit listrik dari limbah pabrik kelapa sawit

| Jenis Industri | Produksi Tahun 2002 (Ribu Ton)                     | Residu    | Rasio Residu Produk (%) | Residu yang dihasilkan (Ribu Ton) | Energi Potensial (PJ) | Potensi Pembangkitan Listrik (MW) |
|----------------|--|-----------|-------------------------|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|
| Kelapa Sawit   | 59,800   | TKKS pada | 21.14                   | 12,640                            | 57                    | 521                               |
|                |  | Serat     | 12.72                   | 7,606                             | 108                   | 1032                              |
|                |  | Cangkang  | 5.67                    | 3,390                             | 55                    | 545                               |
|                | Total Padatan                                      |           |                         | 16,670                            | 220                   | <b>2098</b>                       |
|                | POME @ 3.5m <sup>3</sup> per ton CPO atau 65% dari |           |                         | 38,870                            |                       | <b>320</b>                        |

### 7.8.3 Limbah padi

Ada dua musim tanam padi di Malaysia. Musim utama mengacu pada periode tanam padi dari 1 Agustus sampai 28 Februari dan luar musim mencakup periode tanam padi dari 31 Maret sampai 31 Juli tiap tahun. Total penanaman padi untuk daerah Malaysia pada tahun 2000 adalah sekitar 600.287 hektar dan memproduksi 2.050.306 ton padi. Malaysia 65% swasembada beras dan sisanya 35% diimpor dari Thailand dan Vietnam. Jerami padi dan sekam padi dihasilkan sebagai limbah biomassa selama proses panen dan penggilingan. Jerami padi dibiarkan di sawah dan sekam padi dihasilkan di penggilingan beras. Kedua biomassa dibuang dengan penimbunan dan pembakaran terbuka. Hanya sejumlah kecil sekam padi

digunakan untuk produksi energi dan aplikasi lainnya seperti produksi silika dan pengomposan.

Diasumsikan bahwa hanya 2% dari sekam padi yang digunakan untuk produksi energi. Keseimbangan diperlakukan dengan metode penimbunan. Jerami padi biasanya dibakar di daerah pembakaran terbuka. Jumlah sekam padi dan jerami padi yang dihasilkan di masa depan bergantung pada luas tanaman, hasil padi dan kebijakan pemerintah pada pertanian. Pemerintah berencana untuk meningkatkan hasil dari tingkat sekarang menjadi 10 metrik ton per hektar di masa depan. Dengan target nilai ini lebih banyak sekam padi dan jerami padi tersedia untuk pabrik CHP biomassa. Masalah biomassa padat terutama adalah kesulitan dalam transportasi dan penanganan karena kepadatan yang rendah dan sifat material yang abrasif.

Tabel 7.8.3. rasio limbah produk dan potensi pembangkit listrik dari limbah penggilingan padi

| Jenis Industri | Produksi Tahun 2000 (Ribu Ton) |            | Rasio Residu produk (%) | Residu yang Dihasilkan (Ribu Ton) | Energi Potensial (PJ) | Daya Potensial ( MW ) |
|----------------|--------------------------------|------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Padi           | 2,140                          | Sekam Padi | 22                      | 471                               | 7.536                 | <b>72.07</b>          |
|                |                                | Jerami     | 40                      | 856                               | 8.769                 | <b>83.86</b>          |
| <b>TOTAL</b>   | <b>2,140</b>                   |            |                         | <b>1327</b>                       | <b>16.305</b>         | <b>155.93</b>         |

#### 7.8.4 Limbah tebu

Pada dasarnya di Malaysia, hanya ada 2 dari 5 pabrik gula yang ada, yang menggunakan tebu sebagai bahan baku untuk produksi gula rafinasi. Pabrik lain hanya menggunakan gula merah sebagai bahan baku untuk produksi gula. Tujuan utama dari industri ini adalah untuk keamanan pasokan pangan, penciptaan lapangan kerja, pengembangan proyek-proyek industri di daerah pedesaan dan mengurangi devisa.

Ampas tebu adalah sisa setelah tebu diproses untuk diambil sarinya. Rata-rata, sekitar 32% ampas tebu dihasilkan dari setiap ton tebu yang diproses. Jumlah tebu yang diproses pada tahun 2002 adalah sekitar 1.111.500 ton. Dengan demikian, jumlah ampas tebu yang dihasilkan adalah 355.680 ton. Ampas tebu ini tidak terbuang karena digunakan sebagai bahan bakar limbah biomassa ke boiler untuk kogenerasi pabrik nya. Hal ini menghemat pengeluaran pabrik dalam pembelian bahan bakar minyak boiler dan biaya listrik.

Pada tingkat penggunaan saat ini, semua ampas tebu digunakan sebagai bahan bakar untuk pembangkit kogenerasi. Bahkan ampas tebu ini sebenarnya tidak cukup untuk pabrik

gula. Jadi, mereka membeli limbah biomassa lainnya seperti sekam padi, kayu sisa penebangan dan limbah kelapa sawit untuk digunakan sebagai bahan bakar.

### *7.8.5 Limbah kayu*

Jumlah kawasan hutan di Malaysia sekitar 5,9 juta hektar. Hanya 1,29% dari total area yang diperbolehkan untuk penebangan industri. Keseimbangan ini terutama adalah untuk kawasan hutan permanen, perkebunan hutan, tanah negara, dan suaka margasatwa dan kupe tahunan untuk kawasan hutan permanen. Industri kayu terutama mengacu pada industri penebangan kayu, industri penggergajian, industri produk panel (kayu lapis, vernis, papan partikel, dan papan serat kepadatan menengah), industri molding dan industri mebel. Industri hutan bergerak cepat menjauh dari manufaktur produk bernilai rendah ke produk bernilai tambah. Industri-industri ini menghasilkan berbagai jenis limbah biomassa, yaitu serbuk gergaji, sisa potongan dan kulit kayu. Program minimalisasi limbah diterapkan di industri berbasis kayu karena kurangnya pasokan kayu tropis. Nilai tambah seperti papan partikel dan sendi jari diproduksi dari limbah kayu untuk industri mebel.

Industri kayu memaksimalkan limbah biomassa menjadi produk bernilai tambah. Limbah seperti sisa potongan dari pabrik penggergajian digunakan sebagai bahan bakar untuk tungku pengeringan atau dijual sebagai bahan bakar boiler. Bagian tengah kayu log dari pabrik kayu lapis dan vernis digunakan sebagai bahan bakar boiler. Limbah yang tersisa terutama adalah kulit dan serbuk gergaji. Di daerah terpencil limbah-limbah tersebut dibakar di dalam insinerator atau boiler untuk menghasilkan panas.

Produksi limbah biomassa dari industri berbasis kayu menurun karena terbatasnya pasokan kayu dan maksimalisasi limbah menjadi produk bernilai tambah. Biomassa dari pabrik pengolahan digunakan sebagai bahan bakar untuk pembangkit panas dan listrik atau dijual ke pengguna potensial seperti produsen batu bata. Grafik di bawah menunjukkan potensi energi dan listrik dari limbah yang dihasilkan dari pabrik penggergajian, kayu lapis dan pabrik molding.

### *7.8.6 Limbah padat perkotaan (MSW)*

Populasi Malaysia telah meningkat pada tingkat 2,4% per tahun atau sekitar 600.000 per tahun sejak tahun 1994. Dengan pertumbuhan penduduk ini, produksi MSW juga meningkat, yang membuat manajemen MSW menjadi penting. Saat ini, MSW dikelola terutama melalui TPA. Namun, karena perkembangan yang pesat dan kurangnya ruang baru

untuk itu, kota-kota besar dan pulau-pulau sedang mempertimbangkan pembakaran untuk mengatasi masalah ini.



Gambar 7.8.1. Diagram pai komposisi MSW Malaysia.

### ***Informasi Lebih Lanjut***

Norasikin A. Ludin, Mazlina Hashim, M. Azwan Bakri. Country Report–Workshop on Information for the Commercialisation of Renewables in ASEAN (ICRA). 25–27 August 2004

Biomass Resource Inventory Report, BioGen Project Pusat Tenaga Malaysia

National Renewable Energy Laboratory, The U.S. Department of Energy

BioGen News – Issue 2, November 2004

Economic Planning Unit, Eighth Malaysia Plan (2001 – 2005)

CDM Energy Secretariat, Pusat Tenaga Malaysia: [www.ptm.org.my/CDM\\_website/](http://www.ptm.org.my/CDM_website/)

## **7.9 Filipina**

### ***7.9.1 Dasar kebijakan energi***

Rencana Energi Filipina difokuskan pada tujuan utama, yaitu kemandirian energi dan reformasi kekuatan pasar.

Sebagai agenda reformasi utama dari Administrasi Arroyo, tujuan dari paket kemandirian energi adalah untuk mencapai tingkat kecukupan energi 60% pada tahun 2010 dan seterusnya. Untuk mewujudkan tujuan ini, lima strategi utama telah diidentifikasi dan ini mencakup dua strategi utama yang secara langsung berhubungan dengan energi terbarukan (RE) untuk memasukkan energi biomassa. Dua strategi utama tersebut adalah sebagai berikut:

1) mengintensifkan pengembangan energi sumber daya terbarukan dan meningkatkan penggunaan bahan bakar alternatif.

### *7.9.2 Meningkatkan pengembangan sumber daya energi terbarukan*

Sejalan dengan upaya intensif pemerintah untuk mempromosikan pengembangan dan penggunaan RE, Departemen Energi Filipina (DOE) merumuskan Kerangka Kebijakan Energi Terbarukan yang mewujudkan tujuan, sasaran, kebijakan dan strategi serta program dan proyek untuk lebih mengembangkan sektor RE dalam perspektif prospek permintaan dan pasokan dan tahap pembangunan saat ini dari sektor. Secara khusus, tujuan jangka panjang yang teridentifikasi adalah sebagai berikut: (i) meningkatkan kapasitas pembangkitan berbasis RE sebesar 100 persen dalam sepuluh tahun ke depan, dan (ii) meningkatkan kontribusi non-daya RE ke bauran energi sebesar 10 MMBFOE di 10 tahun berikutnya. Termasuk dalam tujuan ini adalah peningkatan kontribusi dari biomassa, surya dan angin di pembangkit listrik.

#### Potensi sumber daya

Berdasarkan proyeksi saat ini dari Departemen Energi Filipina (DOE), RE akan menyediakan setidaknya 40 persen dari kebutuhan energi utama negara untuk 10 tahun ke depan mulai dari tahun 2005. RE lain seperti biomassa, digunakan terutama untuk aplikasi non-daya, akan tetap menjadi kontributor terbesar terhadap kebutuhan total RE dalam bauran pasokan energi dengan bagian setidaknya 30 persen. Menurut Rencana Pengembangan Tenaga, biomassa akan menyediakan kapasitas 30 MW di tahun 2007 dan akan meningkat menjadi 55 MW di tahun 2008.

Berdasarkan penelitian, "Power Switch and Strategies for Clean Development in the Philippines" atau Penggantian Tenaga dan Strategi untuk Pengembangan Bersih di Filipina, negara ini memiliki potensi kapasitas sumber daya 235,7 MW dari ampas tebu. Penelitian lain juga menunjukkan potensi negara untuk beberapa pembangkit listrik kecil 1-2 MW berbasis bekatul seperti pembangkit listrik berbahan bakar bekatul 1 MW yang saat ini dipasang di bagian utara Luzon.

### *7.9.3 Peningkatan penggunaan bahan bakar alternatif*

Pemerintah akan terus mendorong penggunaan energi alternatif di sektor transportasi khususnya biofuel (yaitu cocobiodiesel atau cocomethyl ester, bahan bakar ethanol dan jarak pagar).

Presiden telah menandatangani undang-undang RA 9367 atau Hukum Biofuels yang memerintahkan penggunaan biodiesel dan bioetanol di seluruh negeri.

Saat ini, biodiesel sudah digunakan secara nasional sebesar 1% dari total volume solar yang dijual. Hal ini sesuai dengan ketentuan UU tersebut, yaitu tiga bulan setelah persetujuan Undang-Undang, minimal 1% biodiesel dari volume harus dicampur ke semua bahan bakar diesel yang dijual di negara tersebut. Negara ini memiliki kapasitas 211.300.000 liter per tahun dari 5 produser biodiesel terakreditasi.

Kebutuhan biodiesel pada tahun 2007 adalah 41 juta liter pada campuran 1%. 100% kepatuhan nasional. sasaran:

Dalam waktu dua tahun dari efektifitas Undang-undang, Departemen Energi Filipina, dapat memerintahkan total campuran 2% tergantung pada hasil penelitian oleh Badan nasional yang dibuat di bawah Undang-Undang. Asalkan campuran etanol dan biodiesel tersebut sesuai dengan Standar Nasional Filipina. Dua tahun dari efektifitas Undang-Undang, setidaknya 5% bioetanol dari total volume bahan bakar bensin dijual dan didistribusikan oleh setiap perusahaan minyak di negara ini. Dalam empat tahun dari efektifitas Undang-Undang, Departemen Energi Filipina, dapat memerintahkan minimum campuran 10% tergantung pada hasil penelitian oleh Badan nasional yang dibuat di bawah Undang-Undang.

Kebutuhan Bahan Baku:

Untuk bioetanol, pasokan bahan baku awalnya berasal dari etanol berbasis gula. Dengan kapasitas 880.000 liter per hari dari berbagai pabrik. Bahan baku lainnya yang dipertimbangkan adalah sorgum manis dan singkong. Untuk biodiesel, saat ini berasal dari minyak kelapa atau CME, tetapi tanaman jarak juga sedang dipertimbangkan.

Hasil bahan baku saat ini: tebu memiliki 23.980.000 metrik ton, jagung memiliki 5,25 juta metrik ton, dan singkong memiliki 1,64 juta metrik ton. Produksi minyak kelapa adalah 1,4 miliar liter per tahun (80% untuk ekspor dan 20% untuk penggunaan lokal).

Kebutuhan Biodiesel: 85 juta liter pada tahun 2008, 229 juta liter pada 2010 dan 277 juta liter per tahun pada tahun 2015.

### ***Informasi Lebih Lanjut***

Banzon, J.A. and J. R. Velasco, Coconut: production and Utilization, 1982

Philippine Energy Plan 2005-2014 (2006 Update)

Elauria, Jessie C., Policy and Actual Biomass Status in the Philippines. Paper presented during the Biomass Asia Workshop held in Japan

Elauria, J.C., M.L.Y. Castro, M.M. Elauria, S.C. Bhattacharya and P. Abdul Salam (2005). Assessment of Sustainable Energy Potential of Non-Plantation Biomass Resources in the Philippines. Volume 29. September 2005. pp. 191-198.

## 7.10 Singapura

Singapura selalu menikmati reputasi sebagai "Kota Taman" karena menjadi "bersih dan hijau" karena manajemen yang efektif dari lingkungan perkotaan dan pemeliharaan ruang hijau. Dengan daratan sekitar 700 km persegi dan populasi 4,5 juta, Singapura juga banyak berinvestasi pada infrastruktur lingkungan seperti pengolahan air limbah dan fasilitas pembuangan limbah. Baru-baru ini, Singapura telah memulai daur ulang dan penggunaan kembali sumber daya air di bawah program yang disebut "NEWater" yang telah menjadi model bagi banyak negara yang mengikuti.

Sekarang pada tahun 2008, keamanan energi mendominasi panggung internasional, harga minyak mentah mendekati rekor tinggi dengan lebih dari US \$ 100 per barel, pemanasan global dan perubahan iklim sekarang menjadi kekhawatiran rumah tangga. pasar yang dipimpin oleh Eropa meminta biofuel cukup banyak. Singapura mengklaim sebagai pusat kilang minyak yang terbesar kedua di dunia dengan kapasitas terpasang lebih dari 1 juta barel / hari. Namun, Singapura bergantung pada impor mendekati 100% dari pasokan energinya. ketergantungan pada energi fosil impor ini karena kebijakan ekonomi dan keberlanjutan lingkungan Singapura sampai ke faktor-faktor eksternal yang semua negara-negara pengimpor energi juga harus hadapi. Yaitu termasuk fluktuasi pasar minyak/gas global; ketidakstabilan politik dari negara-negara pengekspor minyak; protokol internasional (Perjanjian Kyoto) untuk membatasi emisi CO<sub>2</sub> dari penggunaan energi fosil, serta perubahan pola konsumsi energi masyarakat.

Pemerintah telah mendorong pengembangan bersih, program energi alternatif seperti Program Sinergi yang menyediakan *testbed* untuk kendaraan berbahan bakar sel hidrogen sejak tahun 1990-an. Baru-baru ini, pemerintah telah mengumumkan program pendanaan R&D utama pada energi bersih dan terbarukan. Program tersebut telah berhasil menarik investasi besar untuk pembuatan panel surya-PV dengan kapasitas 1.500 MWe per tahun, serta pabrik manufaktur wafer untuk menyediakan bahan silikon mono yang dibutuhkan untuk sel surya.

Di sisi lain, investor sektor swasta telah mengambil keuntungan dari lokasi strategis Singapura di Asia Tenggara bersama dengan infrastrukturnya yang mapan untuk penanganan

minyak mentah, penyimpanan, dan refineries. Singapura mendapat manfaat langsung dari kedekatannya dengan repositori yang kaya akan sumber daya biomassa. Dalam beberapa tahun terakhir, Singapura telah menarik investasi langsung asing di fasilitas produksi biodiesel. Semuanya, 6 proyek produksi biodiesel telah dikonfirmasi, dengan kapasitas gabungan total mendekati 2 juta ton/tahun dan total investasi mendekati US \$ 2 miliar. Semua investasi ini bertujuan untuk membawa minyak mentah berbasis tanaman/biji ini dari daerah sekitar dan mengolahnya di Singapura. Sebuah pusat analisis biofuel regional juga sedang dibuat untuk mengatasi permintaan yang diperkirakan datang dari semua kegiatan ini.

Di dalam negeri, Singapura menghasilkan sekitar 650.000 ton/tahun limbah biomassa yang meliputi sisa makanan, limbah kayu dan lumpur/biosolids. Biomassa kayu banyak berasal dari pengiriman industri yang berkembang di Singapura dimana palet kayu secara rutin dibuang ketika palet tersebut tidak bisa diperbaiki lagi. Secara meningkat, pemerintah Singapura, melalui Badan Lingkungan Nasional (NEA) dan investor sektor swasta mengeksplorasi kesempatan untuk pemulihan dan pemanfaatan energi mereka. Setelah pabrik dibangun oleh investor lokal untuk mengkonversi limbah makanan menjadi biogas, yang lain mengalihkan sekitar 600 ton/hari limbah padat perkotaan (MSW) untuk daur ulang dan penggunaan kembali, dimana sekitar 300 ton/hari biomassa kayu digunakan sebagai bahan bakar untuk kogen. Yang ketiga menghasilkan energi dan menghasilkan air panas dari limbah hortikultura. Pemerintah sekarang mendorong lebih banyak kesempatan untuk mengalihkan limbah biomassa dari insinerator dan situs TPA. Diharapkan bahwa investasi sektor swasta akan lebih melihat manfaat ekonomi dalam pemulihan energi dari sumber daya biomassa.

Singkatnya, Singapura ada di garis depan dalam R&D bioenergi, Singapura juga berlomba dalam mengeksplorasi lebih banyak tentang teknologi biofuel generasi 2 dan 3 yang berkelanjutan dan kemungkinan akan memimpin perkembangan komersial dari energi terbarukan karena kebijakan pemerintah yang pro-aktif dalam menarik investasi.

## **7.11 Thailand**

Pemerintah Kerajaan Thailand meluncurkan sebuah strategi untuk meningkatkan pangsa energi terbarukan dalam bauran energi sejak tahun 2005. Ini adalah resolusi kabinet, mengikat semua instansi pemerintah untuk menyelaraskan arah kebijakan untuk mencapai sasaran kebijakan yang dinyatakan. Menanggapi kebijakan ini, Departemen Energi telah menetapkan tujuh strategi pengembangan kecukupan energi sebagai berikut.

1. Membentuk organisasi independen untuk mengatur listrik dan gas alam
2. Memperkuat keamanan energi dengan mengikuti Prakarsa Kecukupan dari rajanya
3. Mempromosikan penggunaan energi yang efisien
4. Mempromosikan pengembangan energi terbarukan
5. Mencari struktur harga yang tepat untuk energi
6. Menyusun mekanisme pembangunan energi bersih
7. Mendorong sektor swasta dan masyarakat untuk memberikan kontribusi kepada proses pembuatan kebijakan.

Target energi dari basis Biomassa:

Target yang ditetapkan oleh pemerintah adalah bahwa Thailand harus meningkatkan pangsa energi terbarukan dalam konsumsi energi final dari 0,5% pada 2005 menjadi 8% pada 2011 (6.540 ktOE). Target pangsa untuk bahan bakar terbarukan di sektor transportasi adalah 3% untuk penggunaan biofuel yaitu penggunaan bioetanol harus paling tidak 3 Juta L/hari dan biodiesel harus 4,0 Juta L/hari pada tahun 2011. Target untuk panas dan uap berbasis biomassa adalah 4% setara dengan 3940 KTOE pada tahun 2011. Pangsa 1% ditetapkan untuk listrik dari sumber daya terbarukan yang setara dengan 3251 MW pada 2011. Karena kenaikan harga minyak mentah akhir-akhir ini, penyesuaian target telah diumumkan oleh pemerintah untuk mulai menerapkan gasohol E20 (campuran 20% etanol dalam bensin) pada 1 Januari 2008 dan B2 (2% campuran biodiesel dalam solar) telah diamanatkan sejak 1 Februari 2008. Implementasi ini telah membuat Thailand menjadi negara pertama di Asia yang sepenuhnya mengkomersialkan baik campuran bioetanol dan biodiesel di seluruh negeri.

Tugas

Target kebijakan dan implementasi tonggak kejadian ditinjau dan disesuaikan secara berkala dan dilaporkan ke pemerintah oleh Komite Kebijakan Energi Nasional.

Pemanfaatan biomassa

Pada akhir tahun 2007 lebih dari 4000 stasiun layanan mendistribusikan gasohol E10 ke seluruh negeri dan semua stasiun mendistribusikan B2 sebagaimana diamanatkan oleh pemerintah. Campuran biodiesel B5 sekarang tersedia di lebih dari 3000 stasiun. Bioetanol yang digunakan pada bulan Desember rata-rata sebanyak 600 KL/hari. Biodiesel yang digunakan sebelumnya adalah 150 kL/hari untuk campuran-rendah 2-5% sebelum masa wajib. Setelah mandat pencampuran 2% biodiesel di semua diesel kecepatan tinggi, penggunaan

biodiesel melonjak di atas tingkat 1 juta L/hari pada Februari 2008. Produksi listrik terbarukan mencapai 2057 MWe dan panas dan uap berbasis biomassa sebanyak 1840 KTOE pada tahun 2007.

#### Jumlah produksi biofuel

Produksi Biodiesel sekitar 1.150 kL/hari; kapasitas produksi 2.185 kL/hari. Produksi bioetanol 700 kL/hari (Feb 2008) dan kapasitas produksinya 1.150 kL/hari.

#### Situasi dari pengenalan biofuel

Pengenalan Bahan Bakar Nabati sekarang semakin cepat di Thailand. Bensin campuran bioetanol (E10) sekarang mencapai 6 ML/hari dari 20 ML/hari dari total konsumsi bensin dan campuran bioetanol (E10) memperoleh pangsa pasar sebesar 23% dari semua penggunaan bensin pada akhir tahun 2007. Biodiesel, solar-campuran sekarang mencapai 3 ML/hari dari 50 ML/hari total konsumsi solar pada Desember 2007. Angka konsumsi untuk Februari 2008, pasar untuk B5 adalah 5 ML/hari dari total pasar diesel 50 ML/hari, sisanya adalah bahan bakar campuran B2 sebagaimana diamanatkan oleh pemerintah.

#### Tanaman energi

Untuk etanol, 1-2 juta ton molase digunakan sebagai bahan baku (ini adalah produk samping dari produksi gula yaitu sekitar 5 juta ton dari 64 juta produksi tebu), bahan baku lain untuk etanol adalah singkong, hanya 180.000 ton dari 26 juta ton singkong yang digunakan untuk produksi etanol. Untuk biodiesel, sekitar 100.000 ton minyak sawit digunakan untuk biodiesel dari 1,5 juta ton produksi di tahun 2007. Penggunaan minyak sawit untuk biodiesel pada tahun 2008 diperkirakan akan mencapai tingkat 300.000 ton.

#### Prospek masa depan

Banyak pabrik ethanol baru yang menggunakan molase dan singkong akan mulai produksi pada tahun 2008; diharapkan bahwa pada Desember 2008 total kapasitas produksinya akan mencapai 8 juta liter/hari dan Thailand dapat menghasilkan lebih banyak lagi karena surplus bahan baku untuk etanol. Sedangkan untuk biodiesel, pemerintah mulai mempromosikan perkebunan kelapa sawit baru dengan target untuk meningkatkan luas areal 200.000 hektar/tahun selama 5 tahun berikutnya sehingga bahan baku akan cukup untuk memenuhi target produksi biodiesel. Pada 2011, diharapkan bahwa Thailand akan memiliki 1,1 juta hektar perkebunan kelapa sawit, setidaknya setengah dari produksi akan digunakan untuk produksi bioenergi pada tahun 2011. Dalam hal ini, pengembangan tanaman bioenergi di

Thailand, dengan pelaksanaan kebijakan yang tepat, akan menjadi mesin pertumbuhan baru untuk meningkatkan pendapatan untuk sektor pertanian pedesaan. Diramalkan juga bahwa kerjasama antar sub regional Mekong Besar di daerah energi biomassa juga akan meningkatkan pentingnya pengembangan kecukupan energi di wilayah tersebut.

Contoh sukses

Thailand saat ini merupakan satu-satunya negara di Asia yang menerapkan bioenergi ke pasar konsumen utama dimana campuran bioetanol dan biodiesel tersedia di seluruh daerah di negara tersebut. Energi terbarui dan panas/uap juga dipromosikan di industri dan kemajuan substansial telah dilakukan untuk memenuhi target yang ditetapkan oleh pemerintah.

MTEC dan NSTDA akan fokus pada kegiatan R&D untuk membantu industri dan perusahaan kecil dan sederhana untuk menerapkan dan mengintegrasikan bioenergi ke dalam produksi energi dan pemanfaatannya. Keberhasilan Thailand akan menjadi contoh yang baik bagi negara-negara lain di kawasan ini, terutama Laos, Kamboja, Myanmar dan Vietnam, untuk menemukan cara-cara baru. Diharapkan bahwa mekanisme CDM dan skema adaptasi perubahan iklim akan menjadi isu pembangunan yang signifikan pada tahun-tahun yang akan datang.

## **7.12 Vietnam**

### *7.12.1 Kebijakan pemerintah*

Proyek pemerintah No.177/2007/QD-TTg (20 November 2007) untuk pengembangan biofuel hingga 2015 dan visinya hingga 2025 serta Strategi pemerintah No 1855/QDTTg (27 Desember 2007) untuk pengembangan Energi Nasional hingga 2020 dan visinya hingga tahun 2050. Pemerintah menyetujui energi baru dan terbarukan sebanyak 3, 5 dan 11% untuk 2010, 2020 dan 2050 masing-masing. Tidak ada bea untuk pengenalan biomassa. Kementerian Perindustrian dan Perdagangan, Kementerian Sains dan Teknologi, Kementerian Pertanian dan Pembangunan Pedesaan, Kementerian Sumber Daya Alam dan Lingkungan.

### *7.12.2 Pemanfaatan biomassa*

Ketersediaan, jumlah yang digunakan, cara penggunaan setiap biomassa adalah sebagai berikut:

- Limbah ternak: ketersediaan: kotoran babi – 25,7 juta ton/tahun; kotoran sapi – 20,2 juta ton/tahun; kotoran kerbau – 16,0 juta ton/tahun; sampah kota – 6,4 juta ton/tahun, jumlah yang digunakan 70-80% (kompos; pupuk; biogas ...)
- Limbah makanan: ketersediaan tidak ditentukan (pakan ternak)
- Kertas: penggunaan 997.400 ton/tahun, jumlah yang digunakan 70% (daur ulang)
- Lindi hitam: ketersediaan tidak ditentukan, jumlah yang digunakan 40% (pembakaran)
- kayu gergajian: 3414 thous.m<sup>3</sup> residu pabrik kayu: jumlah yang digunakan 100% (penggunaan energi)
- Residu hutan: ketersediaan 1.648,5 ribu ton/tahun, jumlah yang digunakan 0%
- Bagian tanaman yang tidak dapat dimakan: ketersediaan: jerami padi: 76 Mt/tahun; sekam padi 7,6Mt/tahun; ampas tebu 2,5 Mt/tahun, jumlah yang digunakan 20% (kompos, pakan ternak, bahan tempat tidur hewan, listrik, produksi jamur ...); 73.800 ton digunakan untuk minyak sayur; 60.000 ton minyak ikan "Basa" (2005) saat ini menghasilkan 10.000 ton / tahun

Jumlah produksi biofuel disajikan di bawah.

#### Bioetanol

Bahan baku: Ubi kayu, molase, beras

Produksi: 76,63 ML pada tahun 2006.

#### Biodiesel

Sumber: minyak jelantah; minyak ikan Basa, minyak karet; jarak pagar

Produksi: proyek R & D "

Pengenalan biofuel belum dilakukan, tetapi dengan rencana pemerintah hingga 2021 akan menjadi 100.000 t E5 dan 50.000 t B5 diperkirakan tersedia di pasar.

### *7.12.3 Tanaman energi*

Jumlah produksi dan pemanfaatan tanaman energi adalah nol, tetapi di masa depan, pengenalan 2 pabrik etanol menggunakan ubi kayu, masing-masing dengan produktivitas 100 ML/tahun (1 pabrik memproduksi 50ML/tahun menggunakan molasse dan tebu) telah direncanakan.

#### *7.12.4 Contoh sukses*

Digester biogas untuk 40.000 keluarga (1-50 m<sup>3</sup>) telah dipasang. Pengembangan teknologi baru untuk produksi biofuel dari limbah pertanian sedang dilakukan.

### **7.13 Jepang**

#### *7.13.1 Kebijakan pemerintah*

Undang-Undang Promosi Energi Baru (Januari 2002) menyetujui bioenergi sebagai "energi baru", dan mendukung identitasnya. Lembaga untuk energi di METI (Kementerian Ekonomi, Perdagangan, dan Industri) menerbitkan nilai target untuk "energi baru" pada 2010, penggunaan termal biomassa, setara dengan 3,08 juta kL minyak, dan produksi listrik dari biomassa dan limbah, setara dengan 5,86 juta kL minyak.

Strategi untuk pemanfaatan biomassa "Strategi Biomassa Nippon" telah diterbitkan dalam kabinet (Desember 2002). Nilai target pada 2010 telah direvisi (Mar 2006); biofuel untuk transportasi, setara dengan 0,5 juta kL minyak, laju pemanfaatan biomassa yang tidak digunakan, 25%, jumlah "Kota Biomassa", 300 daerah. Kementerian Pertanian, Kehutanan, dan Perikanan menyetujui kota yang memanfaatkan biomassa berdasarkan sifat-sifat wilayah tersebut sebagai "Kota Biomassa".

#### *7.13.2 Status pemanfaatan biomassa*

Status pemanfaatan biomassa di Jepang disajikan pada diagram 7.13.1. Limbah ternak digunakan sebagai kompos dll, limbah makanan sebagai kompos dan pakan ternak, residu pabrik kayu sebagai energi dan pupuk, residu kayu konstruksi digunakan untuk produksi kertas, produksi papan partikel, bahan tempat tidur hewan, pembakaran, dan lain-lain. Residu hutan tidak digunakan.

Bahan bakar biodiesel dari minyak jelantah diproduksi sekitar 3.000 ton/tahun. Produksi bioetanol berada pada tahap R&D, dan bio-etanol diproduksi secara komersial sebanyak 1.400 kL dari sisa kayu pada tahun 2007. Penjualan cobaan bensin dicampur ETBE (setara 3%-EtOH) dan E3 baru mulai pada tahun 2007.

Tanaman energi belum dicoba. Pengenalan terbatas karena tanah yang terbatas dan biaya karyawan yang tinggi. Tetapi, uji produksi tebu dan etanol sedang dilakukan di Okinawa.

### 7.13.3 Contoh sukses

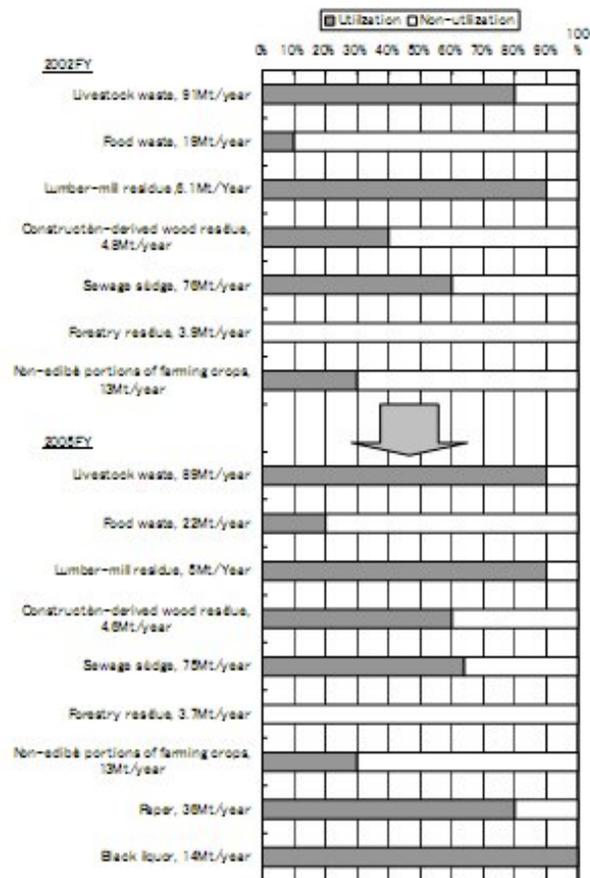
The First Energy Service Co, Ltd., secara komersial mengumpulkan limbah kayu dan menghasilkan energi listrik. Mereka membangun 3 perusahaan pembangkit listrik menggunakan limbah kayu; 10.000 kW di Iwakuni Wood Power Co., Ltd., 11.500 kW di Shirakawa Wood Power Co., Ltd., dan 12.000 kW di Hita Wood Power Co., Ltd.

### 7.13.4 Komentar lain

Tidak ada

### Informasi Lebih Lanjut

MAFF webpage: <http://www.maff.go.jp/j/biomass/index.html>



Gambar 7.13.1. Status pemanfaatan biomassa di Jepang.

## 7.14 Taipei, Cina

### 7.14.1 Kebijakan, mandatori, dan target

Salah satu kunci utama kebijakan energi di Taiwan adalah untuk menstabilkan pasokan energi untuk meningkatkan kemandirian energi. Kapasitas pembangkit listrik dari energi terbarukan yang terpasang diidentifikasi sebesar 12% jumlah untuk meningkatkan kemandirian energi, dan target 10% dari jumlah ditetapkan untuk dicapai pada tahun 2010. Pembangkit listrik dari biomassa dan limbah ditetapkan menjadi sumber ketiga terbesar energi terbarukan, sebesar 1,44% secara total (741MW) pada tahun 2010. Untuk mendukung pemanfaatan energi terbarukan, "Renewable Energy Development Bill" telah dirancang dan diserahkan kepada Legislatif Yuan untuk persetujuan.

Aplikasi biofuel dalam sektor transportasi meningkat baru-baru ini. Proyek perintis yang dimulai oleh Administrasi Perlindungan Lingkungan adalah untuk mencampurkan 20% biodiesel (B20) ke truk sampah dari tahun 2004. Sejak itu, Biro Energi melanjutkan proyek demonstrasi dengan empat tahap. Pertama, Proyek Green Bus dimulai pada tahun 2006, dimana 2% biodiesel (B2) dicampurkan untuk armada bus yang dioperasikan oleh sektor publik. Kedua, tes penjualan B1 di stasiun minyak di daerah Taoyuan.

Kota Chiayi, dan daerah Chiayi dimulai pada tahun 2007, yang disebut Green County Project. Ketiga, target penjualan B1 di semua stasiun minyak akan tercapai pada Juli, 2008. Akhirnya, target B2 yang diaplikasikan di wilayah seluruh negara, yang diperkirakan 100 dam<sup>3</sup>/tahun (100.000 kL/tahun) secara total akan tercapai pada tahun 2010.

Aplikasi bioetanol dimulai pada tahun 2007, tes penjualan E3 di 8 stasiun minyak di kota Taipei difokuskan pada kendaraan resmi, dan mobil pribadi juga dianjurkan menggunakannya. Target E3 pada setiap stasiun minyak kota Taipei dan kota Kaohsiung akan dimulai pada Januari, 2009. Diperkirakan penggunaan E3 di seluruh negara pada tahun 2011 adalah 100 dam<sup>3</sup>/tahun (100.000 kL/tahun) secara total.

Hingga saat ini, subsidi untuk pemanfaatan biomassa masih tidak dapat dihindari. Mandatori terkait tercantum di bawah ini:

- Langkah untuk membeli energi listrik dari sumber energi terbarukan
- Langkah untuk memanfaatkan pembangkit listrik metana di TPA
- Langkah untuk subsidi tanaman energi untuk proyek green bus
- Langkah untuk subsidi proyek mendukung green country

- Langkah untuk subsidi proyek green official's car

Mempertimbangkan wilayah penanaman untuk pertanian tanaman energi adalah terbatas, biofuel dapat diimpor dari luar negeri. "Akta Administrasi Petroleum" harus direvisi kembali untuk memperbaiki manajemen energi terbarukan yang diimpor, seperti bioetanol, biodiesel, dll.

### *7.14.2 Jumlah sumber daya*

Hingga saat ini, kebanyakan biomassa yang dimanfaatkan di Taiwan adalah berasal dari limbah dan residu. Hal yang dimaksud adalah sebagai berikut:

- Ada 24 insenerator limbah padat kota yang terpasang dengan fasilitas pembangkit listrik, dan kapasitas total adalah 528,8 MW.
- Ada kapasitas terpasang untuk pembangkit energi dari biogas yang dihasilkan dari 4 TPA yang besar dan beberapa peternakan babi skala menengah hingga kecil.
- Ada juga beberapa pusat pembangkit listrik menggunakan limbah industri dan pertanian, termasuk ampas tebu, limbah pabrik kertas, limbah plastik, sekam padi dan RDF-5 (Refuse Derived Fuel) dan lain-lain. Kapasitas total dari pusat-pusat tersebut adalah sekitar 67,5 MW.

Tambahan lagi, pelaksanaan untuk mendaur ulang minyak goreng dimulai pada September 2007 di perusahaan. Di rumah tangga juga dianjurkan. Potensi produk biodiesel dari minyak goreng bekas diperkirakan sekitar 80.000 kL/tahun.

Pada waktu terdekat, sekitar 80 km<sup>2</sup> (8.000 ha) ladang direncanakan untuk menanam tanaman energi. Potensi lahan pertanian untuk menanam tanaman energi hingga 5.000 km<sup>2</sup> (500.000 ha).

Jika rumput laut dapat ditanam sekitar 100 km<sup>2</sup> (10.000 ha) di pantai, potensi produk biodiesel diperkirakan sekitar 150-300 dam<sup>3</sup> (150.000-300.000 kL).

# Bab 8. Contoh Pemanfaatan Biomassa

## 8.1 Biometanasi Skala Kecil

### 8.1.1 Apa itu biometana dan biometanasi?

Biometana (juga dikenal sebagai “biogas”) diproduksi dari bahan organik saat terurai. Komponen utama biometana adalah CH<sub>4</sub> (55%-70%) dan CO<sub>2</sub> (25% -40%). Biometana dapat digunakan untuk memasak, memanaskan, menghasilkan listrik dan lain-lain.

Biometanasi adalah proses mengubah bahan organik dalam limbah (padat atau cair) menjadi biometana dan kotoran dengan bantuan mikrobial tanpa adanya udara, yang dikenal sebagai 'pencernaan anaerobik'.

### 8.1.2 Situasi biometana di Cina

Kuantitas limbah tahunan di Cina adalah lebih dari 150 juta ton. Produksi dan pembuangan dalam jumlah yang besar limbah hidup dan industri tanpa perawatan yang cukup menyebabkan pencemaran lingkungan. Sebagian dari sampah ini dapat dikumpulkan dan biometana dapat diproduksi dari digester anaerobik dimana kotoran tersebut terurai. Khususnya di beberapa daerah pedesaan dimana transportasi energi listrik mahal, biometana adalah cara yang baik sebagai penyedia energi untuk memasak, penerangan dan pemanasan, dll.

Sejak tahun 1950-an, pemerintah Cina mendorong biometanasi skala kecil menggunakan limbah hewan dan pertanian sebagai bahan baku. Tabel 8.1.1 menunjukkan perkembangan biometanasi pedesaan di Cina. Hingga 2006, sekitar 20 juta keluarga di daerah

pedesaan menggunakan biometana untuk memasak dan penerangan. Konsumsi tahunan mencapai 5 juta batu bara standar. Subsidi sebesar 2.5 miliar RMB dari pemerintah untuk pembangunan biometanasi berskala kecil. Ini berarti satu biometanasi skala kecil bisa mendapatkan subsidi 800-1200 RMB. Pemerintah Cina berencana untuk membangun 30 juta digester biometana pada tahun 2010 dan 45 juta digester biometana pada tahun 2020.

Tabel 8.1.1. Survei biomassa pedesaan di Cina, 1991-2005.

| Tahun | Digester biometana (juta) | Output tahunan (miliar m <sup>3</sup> ) |
|-------|---------------------------|---|
| 1991  | 4,75                      | 1,11                                    |
| 1995  | 5,70                      | 1,47                                    |
| 1999  | 7,63                      | 2,25                                    |
| 2001  | 9,57                      | 2,98                                    |
| 2002  | 11,10                     | 3,70                                    |
| 2003  | 12,89                     | 4,58                                    |
| 2004  | 15,41                     | 5,57                                    |
| 2005  | 18,07                     | 7,06                                    |

### 8.1.3 Karakteristik biometanasi skala kecil

Di Cina, luas area digester biometana skala kecil adalah sekitar 6-8 m<sup>2</sup>. Output tahunan mencapai 300 m<sup>3</sup>. Biaya dari setiap digester biometana adalah 1500-2000 RMB.

Selain sebagai penyedia energi, biometana di Cina juga memiliki karakteristik sebagai berikut: 1) ramah lingkungan. Untuk setiap digester biometana 3-10 m<sup>3</sup>, air seni 5-8 ekor babi atau 2000-3000 ayam dapat digunakan. 2) residu di dalam digester dapat juga digunakan sebagai pupuk. 3) ekonomis. Karena tidak perlu membeli listrik atau membayar pekerja yang mencari kayu bakar. Selain itu, menghemat kayu.

### *8.1.4 Proses biometanasi skala kecil*

Proses biometanasi skala kecil termasuk pengumpulan bahan baku, pra perlakuan, fermentasi, perlakuan dan pemurnian, penyimpanan dan transportasi, dimana digester fermentasi merupakan peralatan utama. Digester ini harus kedap udara dan tahan untuk memastikan mereka berada dalam kondisi anaerobik. Suhu di dalam digester harus dipertahankan pada 20-40°C. Harus ada kotoran yang cukup dalam pencernaan. Kadar air yang sesuai (sekitar 80%) dan pH (7-8.5) adalah diperlukan.

Fermentasi batch dan fermentasi semi kontinyu merupakan teknologi yang biasa untuk biometanasi skala kecil. Dalam teknologi fermentasi batch, semua bahan baku ditambahkan terlebih dahulu. Perolehan biometanasi adalah cepat pada awal dan kemudian menurun. Teknologi ini mudah dalam hal manajemen, tetapi laju perolehan biometanasi yang diperoleh berbeda-beda. Dalam teknologi fermentasi semi kontinyu, 1/4-1/2 bahan baku ditambahkan di awal. Ketika perolehan biometana berkurang, bahan baku ditambahkan lagi untuk menjaga biometanasi.

### *8.1.5 Pasokan energi biometanasi skala kecil*

Biasanya, laju perolehan biometana digester adalah 0.2-0.25 m<sup>3</sup>/(m<sup>3</sup>.d). Oleh karena itu, output tahunan digester 10 m<sup>3</sup> adalah sekitar 600 m<sup>3</sup> biometana. Biasanya, nilai kalor 1 m<sup>3</sup> biomethanol adalah setara dengan 3,3 kg batubara mentah. Seperti yang telah disebutkan di atas, konsumsi tahunan biometana mencapai 5 juta setara dengan batu bara di Cina. Hal ini jelas bahwa biometana memainkan peranan penting dalam penyediaan energi di pedesaan.

## ***Informasi Lebih Lanjut***

<http://www.cogeneration.net/BioMethanation.htm>

Wang Haibo, Yang Zhanjiang, Geng Yejiang, Analysis on the influence factors of rural household biogas production in Cina. *Renewable Energi Resources*, Vol. 25 No.5 Oct. 2007: 106-109

<http://www.biogas.cn/>

Gao Yunchao, Kuang Zheshi, etc. Development progress and current situation analysis of the rural household biogas in Cina, *Guangdong Agricultural Sciences*, 2006. 1: 22-27

Huang Fenglian, Zheng Xiaohong, etc. Actions and modes of household biogas for new rural area construction in Cina. *Guangdong Agricultural Science*, 2007. 8: 114-116

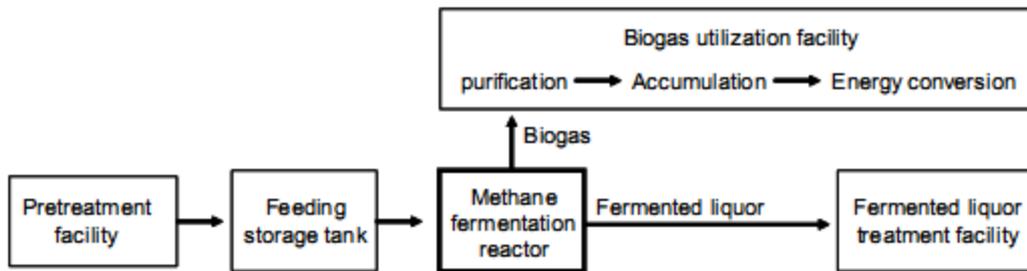
## **8.2 Biometanasi Skala Besar**

### ***8.2.1 Pengenalan pada biometanasi skala besar***

Pencernaan anaerobik telah lama digunakan secara praktis dalam jangka waktu yang lama. Industri ini telah dimulai sejak tahun 1900. Sejak itu, sistem pencernaan anaerobik terus ditingkatkan dan diperbesar untuk memperlakukan berbagai jenis limbah biomassa seperti limbah industri makanan, sampah, limbah ternak, kotoran dan sisa limbah dan lain-lain.

### ***8.2.2 Sistem pencernaan anaerobik skala besar***

Sistem pencernaan anaerobik skala besar yang khas disajikan pada Gambar 8.2.1. Fungsi setiap proses unit dijelaskan di bawah.



Gambar 8.2.1. Sistem pencernaan anaerobik skala besar yang khas.

### (a) Proses pra-perlakuan

Untuk mencapai pencernaan anaerobik yang efektif, pra perlakuan seperti pembuangan bahan asing yang tidak sesuai untuk pencernaan anaerobik, penghancuran, pelarutan dengan air, pemekatan, dan/atau perlakuan asam atau basa. Beberapa limbah biomassa seperti sampah, yang merupakan campuran berbagai bahan organik dan anorganik, dan, oleh karena itu komponen dan sifatnya tidak selalu konsisten, harus dipisahkan dengan menggunakan metode mekanis dan/atau pemisahan menggunakan magnet untuk membuang bahan-bahan yang tidak dapat dicerna seperti logam dan plastik. Limbah biomassa yang dipisahkan dihancurkan dan ditambahkan air untuk dijadikan bubur untuk proses berikutnya.

### (b) Tangki penyimpanan bubur

Bubur yang tersedia disimpan sementara di tangki penyimpanan bubur untuk penyetaraan fluktuasi harian baik kualitas dan kuantitas. Jika suhu sekitar adalah sesuai, aktivitas mikroba asidogen dalam tangki penyimpanan dapat ditingkatkan. Jika hal ini terjadi, akumulasi asam organik dalam bubur dapat menyebabkan penurunan pH ke level rendah sekitar 4. Tangki penyimpanan bubur harus dirancang untuk tahan terhadap korosi akibat dari kondisi pH yang rendah.

### (c) Fermenter metana (digester anaerobik)

Ada tiga kelompok besar mikrob fungsional yang aktif dalam fermentasi metana. Ketiga fungsi ini secara berurutan adalah: hidrolisis, asidogenesis dan metanogenesis. Produk

akhir dari reaksi adalah metana dan karbon dioksida. Reaksi hidrolisis sering menjadi jalur pembatas-laju pada proses pencernaan anarobik untuk biomassa yang sulit untuk terbiodegrasi dan biomassa yang keras seperti lumpur limbah dan biomassa berlignin, sedangkan metanogenesis menjadi jalur pembatas-laju pada proses pencernaan anarobik untuk biomassa yang terbiodegrasi seperti sampah dan limbah air berpati. Untuk membangun sistem pencernaan anaerobik yang efisien, penting untuk mempertimbangkan jalur pembatas-laju dan untuk memilih rancangan reaktor yang paling sesuai untuk sifat limbah biomassa. Misalnya, laju keseluruhan pencernaan anaerob pada limbah biomassa biodegradabel sangat bergantung pada rapatannya metanogen aktif dalam reaktor, maka reaktor harus dirancang untuk memaksimalkan rapatannya atau massa metanogen dalam sistem.

#### **(d) Perlakuan air limbah fermentasi**

Air limbah fermentasi yang dibuang dari digester anaerobik biasanya mengandung konsentrasi bahan organik yang tinggi, senyawa nitrogen dan senyawa fosfor. Air limbah fermentasi harus dilakukan perlakuan untuk mengurangi konsentrasi polutan ini demi memenuhi standar untuk pembuangan akhir limbah ke penerima air atau sistem saluran pembuangan. Sistem perlakuan air limbah yang paling khas adalah proses lumpur teraktivasi dengan perawatan tersier.

#### **(e) Pemanfaatan biogas**

Karena sebagian besar limbah biomassa mengandung protein (sumber nitrogen dan sulfur) dan garam sulfat, biogas mengandung konsentrasi hidrogen sulfida dan amonia tertentu. Biogas yang dihasilkan dari lumpur limbah, yang biasanya mengandung sejumlah besar silikon, mungkin juga mengandung siloksan. Karena kotoran ini dapat menyebabkan kerusakan pada fasilitas pemanfaatan biogas seperti mesin gas, boiler gas, turbin gas dan sel bahan bakar, dan/atau menyebabkan pencemaran udara sekunder, unit proses pemanfaatan biogas sering dilengkapi dengan perangkat desulfurisasi dan/atau pembuang siloksan sebelum memasuki tangki penyimpanan gas.

### 8.2.3 Contoh sistem pencernaan anaerobik skala besar

Beberapa implementasi khas dari sistem pencernaan anaerobik skala besar dijelaskan di bawah.

#### (a) Lumpur limbah

Lumpur limbah merupakan limbah biomassa yang dibuang dalam jumlah besar dari pusat pengolahan limbah. Dalam jangka waktu yang lama, pencernaan anaerobik telah dilakukan salah satu perlakuan di lumpur limbah untuk menstabilkan lumpur dan mengurangi volumenya. Rancangan reaktor yang biasanya digunakan pada pencernaan lumpur limbah adalah rancangan reaktor tercampur (Gambar 8.2.2). Sebuah digester anaerobik kontemporer untuk lumpur limbah memiliki volume efektif sebesar 10.000 m<sup>3</sup>. Parameter rancangan khas meliputi suhu ruang operasional (ca. 20°C) hingga kisaran mesofilik (ca. 35°C), dan waktu retensi relatif panjang dari 20 hingga 30 hari.

#### (b) Air limbah organik dari industri

Air limbah industri mengandung bahan organik biodegradabel, namun sedikit padatan, seperti pembuangan air limbah dari pusat pembuatan bir, rancangan reaktor UASB (aliran-atas, lapisan lumpur anaerobik/ *up-flow, anaerobik sludge blanket*), yang dikembangkan di Belanda, biasanya dipilih. Rancangan reaktor UASB mempertahankan rapatan mikroorganisme anaerobik yang tinggi dalam bentuk mikrob "granul" teragregasi sendiri yang memungkinkan tercapainya pencernaan anaerobik dengan laju tinggi.

#### (c) Limbah organik dari industri makanan

Rancangan digester anaerobik yang memungkinkan tercapainya pencernaan anaerobik dengan laju yang tinggi pada biomassa biodegradabel yang mengandung konsentrasi padatan yang tinggi sedang dikembangkan, dan beberapa sudah beroperasi baru-baru ini. Contoh rancangan baru adalah rancangan DAPR (*down-flow anaerobik packed-bed reactor*). Banyak fasilitas jalur pencernaan anaerobik berlaju tinggi untuk limbah makanan dan sisa

penyulingan, menggunakan rancangan DAPR, telah diimplementasikan di Jepang. Pembangkit yang terbesar adalah berkapasitas 400 ton/hari. (Gambar 8.2.3).



Gambar 8.2.2. Contoh digester anaerobik lumpur limbah skala besar.



Gambar 8.2.3. Contoh pembangkit biometanasi skala besar dari limbah makanan.

(Pabrik daur ulang limbah hasil distilasi yang dikembangkan oleh Kirishima Shuzo co. LTD.)

### ***Informasi Lebih Lanjut***

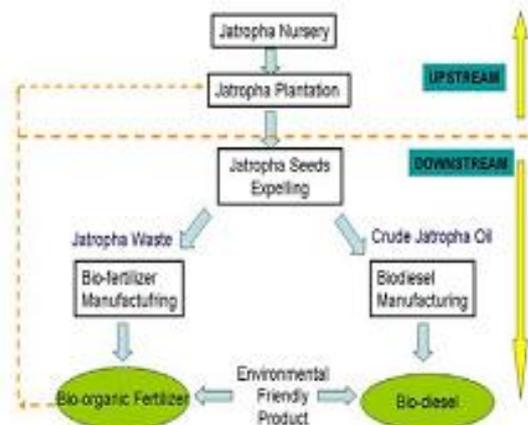
R.E. Speece: Anaerobik Biotechnology, Archae Press, pp.127, Tennessee (1996)

Japan Sewage Works Association: Sewage Facilities planning, policy, and explanation (second part) 2001, pp.384, Japan (2001)

J.B. Lier: Current Trends in Anaerobik Digestion; Diversifying from waste(water) treatment to re-source oriented conversion techniques, 11<sup>th</sup> IWA World Congress on Anaerobik Digestion, 23-27 September 2007, Brisbane, Australia (2007)

Hisatomo Fukui and Motonobu Okabe: Distilled spirit processing waste recycling plant using thermophilic dawn-flow packed-bed reactor, Gas fuel manufacture from biomass and its energi utilization, NTS, pp-265-275, Japan (2007)

## 8.3 Perkebunan Jarak Pagar



Gambar 8.3.1. Bisnis jarak pagar yang terintegrasi.

memproduksi pupuk bio dan aplikasi lainnya. Kedua aktivitas ini dikenal sebagai produk yang ramah lingkungan.

### 8.3.1 Budi daya jarak pagar



Gambar 8.3.2. Perkebunan jarak pagar.  
(Bambang P., 2007)

waktu 9 hari. Penambahan kotoran saat perkecambahan memiliki efek negatif selama fase itu, tetapi menguntungkan jika dilaksanakan setelah perkecambahan sempurna. Namun, biasanya ia mengalami perbanyakan dengan pemangkasan, karena memberikan hasil yang lebih cepat

Bisnis terpadu jarak pagar terdiri atas aktivitas hulu dan hilir. Kegiatan hulu meliputi pembibitan jarak pagar dan perkebunan jarak pagar. Aktivitas hilir meliputi proses-proses pengupasan biji di mana minyak jarak pagar mentah yang diperoleh dapat digunakan untuk pembuatan biodiesel, sedangkan hasil samping/limbah jarak pagar (yaitu bungkil jarak, kulit biji, gliserin) dapat digunakan untuk

dibandingkan perbanyakannya dengan biji. Bunga hanya berkembang sekali, sehingga percabangan yang baik (tanaman yang memiliki banyak cabang) menghasilkan jumlah buah yang banyak. Faktor produktivitas lainnya adalah rasio antara bunga betina dan jantan dalam suatu perbungaan (biasanya perbandingan bunga betina dan jantan adalah 1:10, lebih banyak bunga betina berarti lebih banyak buah).

Jarak pagar dapat tumbuh pada kadar hujan tahunan 300 – 2.380 mm, dengan kadar hujan optimum 625 mm/tahun. Waktu terbaik untuk memulai penanaman adalah pada musim kering atau sebelum musim hujan, dengan suhu rata-rata tahunan adalah 20 - 28°C.

### 8.3.2 Metode propagasi

Ada dua metode propagasi, yaitu propagasi generatif (pembenihan) dan vegetatif (pemotongan). Untuk monokultur, lebar penanaman adalah 2 × 2, 2,5 × 2,5 dan 3 m × 3 m. Hal ini setara dengan rapat tanam 2.500, 1.600 dan 1.111 tanaman/ha. Namun, tanaman



Gambar 8.3.3. Buah dan biji jarak pagar.

yang dipropagasi dengan pemotongan menunjukkan umur yang lebih rendah dan memiliki kekeringan serta ketahanan terhadap penyakit lebih rendah dibandingkan tanaman yang dipropagasi dengan biji. Hanya selama dua tahun pertama ia harus disiram pada hari-hari akhir pada musim kering. Pembajakan dan penanaman tidak selalu diperlukan, karena ia memiliki umur sekitar empat puluh tahun. Penggunaan pestisida dan zat-zat pencemaran lainnya tidak diperlukan, karena tanaman tersebut sudah memiliki sifat pestisida dan fungisida.

1 ha tanaman jarak pagar biasanya akan memberikan hasil 2.250 kg biji (Gambar

8.3.3 buah jarak pagar & biji) dan 750 kg minyak, maka rasio benih dan minyak adalah 3:1. Minyak biji dapat diekstraksi secara hidrolis menggunakan tekanan atau secara kimia menggunakan pelarut, namun, ekstraksi kimia tidak dapat dicapai dalam skala kecil.

### 8.3.3 Biodiesel jarak pagar

Esterifikasi-Transesterifikasi, juga dikenal sebagai proses 'estrans' (Gambar 8.3.4) telah dikembangkan dan dipatenkan oleh Prof. R. Sudradjat (2003). Ada dua tahap dalam proses ini:



Gambar 8.3.4. Tingkatan kualitas estrans.

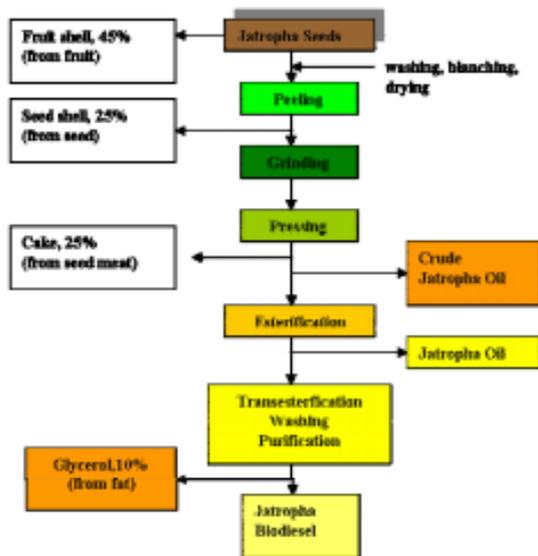
1. Dalam proses esterifikasi, asam lemak bebas (penyebab utama keasaman biodiesel) diubah menjadi biodiesel (metil ester)
2. Trigliserida dan asam lemak yang masih terikat dengan trigliserida dalam minyak diubah menjadi metil ester melalui transesterifikasi. Dengan proses ini, perubahan minyak menjadi biodiesel (tanpa gliserol) 99,75% dapat tercapai.

Kelebihan lain proses ini adalah penggunaan reaktan metanol/etanol dapat dikurangi hingga <20% dan katalis HCl dapat diganti dengan katalis padat dari bahan alami (FKS) yang jauh lebih murah dan dapat didaur ulang.

Dari siklus produksi, tiga kualitas hasil estrans (Gambar 8.3.4) dapat diperoleh: 1) Minyak jarak pagar mentah (CJO) - sebagai pengganti minyak tanah atau residu yang dapat digunakan untuk pembakaran langsung; 2) Minyak jarak pagar (JO) - sebagai pengganti minyak diesel (ADO) untuk mesin yang memiliki rpm rendah (seperti generator portabel, traktor/buldozer, dll); 3) Biodiesel sebagai bahan bakar (otomotif).

Gambar 8.3.5 menunjukkan diagram proses produksi biodiesel jarak pagar dari biji. Dari gambar tersebut terlihat bahwa proses ini meliputi pencucian, pemucatan dan

pengeringan biji sebelum diteruskan ke proses pengelupasan. Daging biji yang dihasilkan digiling dengan mesin penggiling, serbuk yang digiling ditekan menggunakan mesin pres hidrolis (manual atau listrik). Minyak jarak pagar mentah (CJO) kemudian diekstrak dan residu bungkil jarak dapat dimanfaatkan untuk pakan ternak, biopestisida, dll.



Gambar 8.3.5. Diagram proses produksi biodiesel jarak pagar.

(sumber: R. Sudradjat, 2006)

Produksi biodiesel dari minyak jarak pagar (JO) dilakukan dengan menggunakan reaktor estrans di mana JO dipanaskan pada suhu antara 50-60°C. Metanol sebagai pelarut (5%) digunakan dan katalis HCl (10% v/v) ditambahkan dan kemudian dicampur. Proses esterifikasi memerlukan waktu selama 2 jam pada suhu 50°C. Campuran ini kemudian dipisahkan ke separator gliserol dimana proses ini memerlukan waktu 4 jam. Gliserol (pasta putih) akan tinggal di bagian bawah sedangkan bagian atas JO dapat diekstrak dan dimasukkan

ke pemisah air dan netralisasi. Dalam pemisahan air ini, JO dibilas dua kali dengan menggunakan air demineralisasi, kemudian netralisasi dilakukan dengan menggunakan 0,01% NaHCO<sub>3</sub> dan terakhir demineralisasi menggunakan air dilakukan sekali lagi. Produk akhir akan dipompa keluar ke tangki penyimpanan.

Produksi biodiesel: JO dimasukkan ke dalam reaktor estran pada suhu 50-60°C. Campuran metanol (10% v/v) dan katalis KOH (0,5% v/v) dimasukkan ke dalam reaktor. Selama proses transesterifikasi dilakukan pengadukan selama 0,5 - 1 jam suhu dijaga sekitar 50°C. Pisahkan biodiesel dari gliserol dengan prosedur yang sama seperti membuat JO. Prosedur yang sama untuk mencuci dan proses netralisasi, tapi proses ini menggunakan 0,01% CH<sub>3</sub>COOH menggantikan NaHCO<sub>3</sub>. Terakhir, produk akhir dari biodiesel jarak pagar

siap untuk digunakan sebagai pengganti minyak diesel (ADO). Karakteristik biodiesel jarak pagar disajikan pada Tabel di bawah ini.

Tabel 8.3.1. Karakteristik perbandingan minyak jarak pagar, biodiesel CPO dan minyak diesel.

(sumber: Soerawidjaja, Tatang H, 2005)

| Parameter                     | Minyak jarak pagar | Biodiesel CPO | Minyak diesel (ADO) |
|-------------------------------|--------------------|---------------|---------------------|
| Densitas (g/cm <sup>3</sup> ) | 0,92               | 0,87          | 0,841               |
| Viskositas (cSt)              | 52                 | -             | 6-11.75             |
| Bilangan setana               | 51                 | 64            | 51                  |
| Titik nyala (°C)              | 240                | 182           | 50                  |
| Sulfur (ppm)                  | 0,13               | 0,0068        | 1,2                 |
| Bilangan iodin (mg iodin/g)   | 105,2±0,7          | -             | -                   |
| Bilangan asam (mg KOH/g)      | 3,5±0.1            | 0,5           | -                   |
| Nilai kalor (kcal/kg)         | 9.720              | 8.783         | 10.200              |

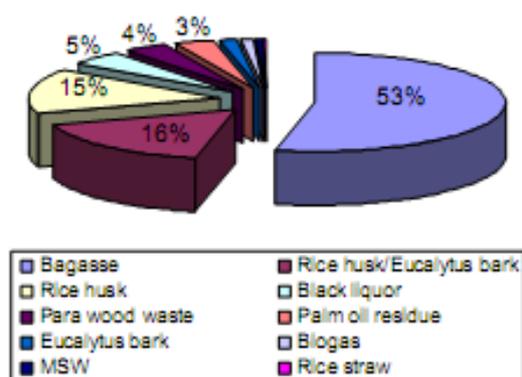
## 8.4 Pembangkit Listrik dari Sekam Padi

### 8.4.1 Promosi produksi energi di Thailand

Pada tahun 2007, Kementerian Energi (Thailand) telah mempromosikan SPP (Small Power Producer: 10-90 MW) dan VSPP (Very Small Power Producer: <10 MW), khususnya yang menggunakan biomassa, dengan harga pembelian kembali jaringan listrik yang tinggi dan prosedur sederhana untuk mendapatkan izin lisensi dalam rangka mengatasi situasi energi. Pada Oktober 2007, lebih dari 77 SPP dan VSPP dengan kapasitas terpasang lebih dari 1.100 MW, separuhnya dijual kembali ke jaringan listrik.

### 8.4.2 Pusat pembangkit listrik di Thailand

Seperti yang disajikan dalam Gambar 8.4.1, pusat pembangkit listrik biomassa semuanya terdistribusi di seluruh negara, terutama di bagian tengah dan timur laut. Dari segi penjualan kembali ke jaringan listrik, lebih dari separuh pusat pembangkit listrik menggunakan ampas tebu sebagai bahan baku, diikuti oleh sekam padi 31%, seperti yang disajikan pada Gambar 8.4.2.



Gambar 8.4.2. Pembangkit listrik biomassa.



Gambar 8.4.1. Distribusi Pembangkit Listrik Biomassa di Thailand.

Sumber: diadaptasi dari Energy for Environment Foundation (<http://www.efe.or.th>)

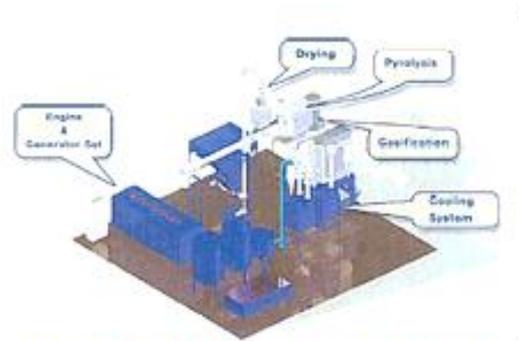
### 8.4.3 Teknologi gasifikasi untuk sekam padi

Meskipun ada banyak pusat pembangkit listrik biomassa, beberapa diantaranya masih beroperasi pada efisiensi rendah menggunakan pembakaran konvensional untuk menghasilkan uap untuk pembangkit listrik. Oleh karena itu, proses konversi termo-mekanis seperti teknologi gasifikasi dapat membantu menyelesaikan masalah ini. Sekam padi merupakan bahan baku lain yang menarik untuk pembangkit listrik biomassa karena ketersediaan yang

banyak dari pabrik padi, ukurannya yang kecil dan kelembapannya rendah. Baru-baru ini, Kementerian Energi telah membiayai sebuah proyek pada Kasetsart University dan Great Agro Co, Ltd untuk menunjukkan kelayakan pembangunan sistem gasifikasi biomassa di masyarakat (menggunakan sekam padi). Proyek ini dimulai untuk memupuk filsafat Kecukupan Ekonomi oleh Raja Thailand. Sistem ini tidak hanya menghasilkan 80kW listrik tetapi juga panas dan abu biomassa untuk dijadikan pupuk, seperti yang disajikan pada Gambar 8.4.3. Rancangan sistem menggunakan pirolisis dan gasifikasi lapis berfluida tiga-tahap, terdiri atas 5 unit utama: pengeringan, pirolisis, gasifikasi, sistem pendinginan dan set mesin/generator, seperti yang disajikan pada Gambar 8.4.4.



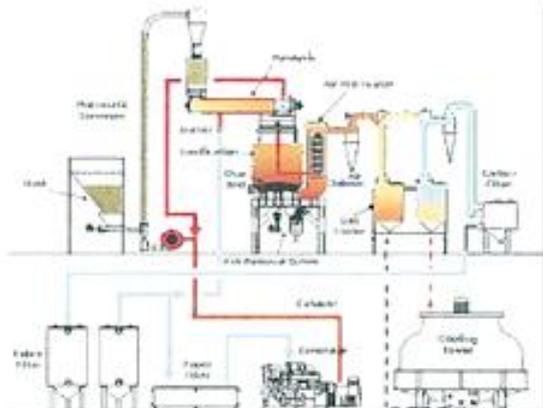
Gambar 8.4.3. Konsep sistem gasifikasi biomassa.



Gambar 8.4.4. Unit sistem gasifikasi.

Seperti yang disajikan dalam Gambar 8.4.5 dan 8.4.6, sistem tersebut telah dipasang di Lam Lukka Cooperative Rice Mill & Paddy Center Market Co, Ltd untuk demonstrasi dan uji selama lebih dari 360 jam. Dengan laju aliran gas sebesar 240 m<sup>3</sup>/jam (nilai kalor 4,5 MJ/m<sup>3</sup>) dan konsumsi sekam padi 85 kg/jam, efisiensi sistem gasifikasi keseluruhan adalah 92%. Dengan kata lain, 1,25 kg /jam konsumsi sekam padi menghasilkan 1 kW listrik. Selain itu, volume residu tar sekitar 22 mg/m<sup>3</sup>. Pada analisis ekonomi, sistem 80kW membutuhkan investasi modal sekitar ~ 3,9M Baht dengan biaya operasi ~ 1,79 Baht/unit. Dengan anggapan bahwa sistem menghasilkan listrik pada 460.800 unit/tahun, yang menggantikan biaya listrik 3 Baht/unit, keuntungan bersih diperkirakan mencapai 0,56M Baht/tahun dengan periode

pengembalian 7 tahun. Langkah selanjutnya adalah kolaborasi antara MTEC dan Great Agro Co, Ltd untuk meningkatkan skala sistem hingga kapasitas 1MW.



Gambar 8.4.5. Diagram alir sistem gasifikasi. Gambar 8.4.6. Menjalankan uji pada peralatan.

### ***Informasi Lebih Lanjut***

S. Nivitchanyong, Alternative Energi Cluster, National Metal and Materials Technology Center: MTEC (siriluck@mtech.or.th)

## **8.5 Produksi Etanol**

### ***8.5.1 Bahan baku apa yang baik untuk produksi etanol?***

Di Thailand, sebagian besar pabrik etanol komersial menggunakan molase sebagai bahan baku, tetapi pabrik baru yang menggunakan ubi kayu meningkat dalam waktu dekat. Namun, kedua tanaman energi tersebut masih dianggap sebagai bahan pangan, yang dapat mengganggu isu 'makanan vs bahan bakar'. Sebagai hasilnya, lebih banyak orang mencari alternatif, yaitu tanaman energi yang tidak dapat dimakan. Beberapa diantaranya adalah lignoselulosa dari berbagai residu pertanian telah menerima banyak perhatian, memulai era bioetanol lignoselulosa generasi kedua.

## 8.5.2 Bahan baku biomassa lignoselulosa untuk etanol di Thailand

Setiap tahun di Thailand, industri pertanian menghasilkan jutaan ton berbagai bahan baku biomassa lignoselulosa yang dikenal sebagai residu pertanian, termasuk jerami, ampas tebu, serat/tongkol jagung dan serpihan kayu. Tebu dan beras, yang terkonsentrasi di wilayah-wilayah utara dan timur laut, merupakan dua produsen pertanian nasional (dalam berat) terbesar seperti terlihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 8.5.1 Produksi pertanian empat besar di Thailand (2004).

|                       | Tebu   | Padi   | Ubi kayu | Jagung |
|-----------------------|--------|--------|----------|--------|
| Produksi (ribu ton)   | 64.974 | 27.038 | 21.440   | 4.216  |
| Luas area (ribu rai*) | 7.009  | 63.709 | 6.608    | 6.810  |
| Hasil per rai (kg)    | 9.270  | 424    | 3.244    | 619    |

Sumber: kantor ekonomi pertanian (2004)

\*6,25 rai = 1 hektar

Pada umumnya, residu ini dimanfaatkan secara tidak efisien karena kebanyakan disebabkan oleh masalah lingkungan. Jerami dianggap limbah dan dibuang melalui berbagai metode seperti pembakaran udara terbuka (sebagaimana disajikan pada Gambar 8.5.1 dan 8.5.2), penimbunan atau untuk pakan ternak. Sebuah metode yang lebih menarik untuk mengelola jerami yang berlimpah adalah diubahnya menjadi etanol.



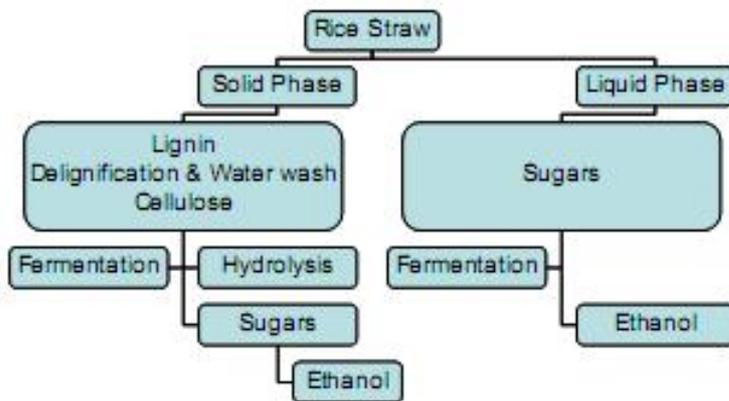
Gambar 8.5.1. Pembakaran udara terbuka menyebabkan polusi udara.



Gambar 8.5.2. Pembakaran juga menyebabkan polusi tanah.

### 8.5.3 Pelopor kerja R&D pada pemrosesan

Karena lignoselulosa utamanya tersusun atas selulosa, hemiselulosa dan lignin, maka diperlukan pra perlakuan tambahan untuk mendapatkan monomer gula yang siap untuk dilakukan proses fermentasi. Proses ini membutuhkan SHF (Pemisahan, Hidrolisis, dan Fermentasi/*Seperate, Hydrolisis and Fermentation*) yang kompleks yang melibatkan pra perlakuan, fraksinasi, delignifikasi, hidrolisis dan fermentasi. Cara lainnya adalah pra perlakuan dengan ledakan uap (*steam explosion*) yang sesuai untuk menghasilkan hidrolisat, yang dapat dicerna secara enzimatik dan difermentasi di dalam reaktor tunggal melalui metode SSF (Sakarifikasi dan Fermentasi yang Simultan/*Simultaneous Saccharification and Fermentation*), seperti yang disajikan pada Gambar 8.5.3, 8.5.4 dan 8.5.5, hanya melibatkan langkah pra perlakuan dan hidrolisis/fermentasi. Tujuannya adalah untuk mencari SSF yang sesuai yang menggunakan enzim selulase yang tersedia secara komersial dan mikroorganisme yang tersedia di pasar Thailand.



Gambar 8.5.3. Proses produksi etanol dari lignoselulosa.



Gambar 8.5.4. Prototipe unit ledakan uap.

Sumber: C. Pomchaitaward *et al.*, MTEC report (2007)

Ledakan uap digunakan pada jerami Supunburi1<sup>TM</sup> menunjukkan perolehan kembali karbohidrat yang baik dan konsentrasi etanol yang tinggi yang diperoleh dalam reaktor

tunggal dengan suplementasi enzim dan ragi yang minimum. Sebanyak 150 g jerami kering dikukus dengan tekanan antara 10 hingga 25 bar (dengan suhu yang sesuai 185 dan 210°C masing-masing) selama 5 menit. Tekanan uap yang tinggi (atau suhu yang lebih tinggi) meningkatkan kelarutan hemiselulosa. Namun,



Gambar 8.5.5. Hasil ledakan uap pada jerami.

pengaruh tekanan uap pada kelarutan selulosa tidak ditemukan. Kondisi pra perlakuan optimum menghasilkan produk dekomposisi gula dalam jumlah yang sangat kecil, yang memungkinkan fermentasi gula menjadi etanol berlangsung efektif. Kesimpulannya, kondisi uap pra perlakuan yang sederhana pada 15 bar selama 5 menit mendapatkan hasil hidrolisis tertinggi.

Proses ini secara substansial mengurangi kerumitan biokonversi jerami menjadi etanol, sekaligus mengurangi biaya modal investasi dan waktu yang terkait dengan kebutuhan untuk proses pemisahan. Selain itu, secara signifikan menurunkan dampak buruk terhadap lingkungan karena bahan kimia yang digunakan serta kondisi proses yang terlibat tidak berbahaya. Ia juga memberikan alternatif untuk efisiensi energi yang lebih baik dalam pengelolaan limbah pertanian.

### ***Informasi Lebih Lanjut***

C. Pomchaitaward et al., Feasibility Study of Ethanol Production from Lignocellulose Materials via the Steam Explosion Pretreatment, MTEC in-house project report 2007 ([chaiyapp@mtec.or.th](mailto:chaiyapp@mtec.or.th))

S. Nivitchanyong, Alternative Energi Cluster, MTEC ([siriluck@mtec.or.th](mailto:siriluck@mtec.or.th))

# LAMPIRAN

- A1. Deklarasi Tokyo mengenai Biomassa Asia**
- A2. Protokol Kyoto**
- A3. Statistika Negara-Negara Asia**
- A4. Konversi Unit**
- A5. Bobot Atom**
- A6. Sifat Termodinamika**
- A7. Nilai Kalor Bahan Bakar Fosil dan Waktu Hidup**
- A8. Kerangka APEC**
- A9. Target Masing-Masing Negara**
- A10. Sejarah Terkait**
- A11. Bahasa Setiap Negara**
- A12. Buku Terkait**

# **A1 Deklarasi Tokyo mengenai Biomassa Asia**

## **A1.1 Deklarasi Tokyo mengenai Biomassa Asia**

Pada Forum biomassa Asia yang telah diselenggarakan terutama oleh Kementerian Pertanian, Perikanan, dan Kehutanan Jepang, Deklarasi Tokyo mengenai Biomassa Asia telah diterima. Deklarasi ini mengatur hal-hal yang harus dipertimbangkan dan arah aktivitas-aktivitas untuk pemanfaatan biomassa di negara-negara Asia berdasarkan diskusi di dalam forum ini. Deklarasinya adalah sebagai berikut:

### **Deklarasi Tokyo mengenai Biomassa Asia**

Mempertimbangkan harapan yang semakin meningkat terhadap biomassa, Forum Biomassa Asia menerima deklarasi berikut untuk pemanfaatan sumber daya biomassa Asia yang efektif.

1. Keterbaruan dan kenetralan karbon dari sumber daya biomassa harus diakui dan pemanfaatan sumber daya biomassa harus didorong.
2. Ketika menggunakan sumber daya biomassa, kepentingan keberlanjutannya haruslah ditekankan dan pengurangan emisi karbon dioksida haruslah dievaluasi secara tepat.
3. Kontribusi sumber daya biomassa terhadap aktivasi industri di Asia dan ekonomi regional harus diakui dan langkah-langkah tepat harus diambil pada efek-efek ekonomi tersebut.
4. Ketika menggunakan sumber daya biomassa, peluang untuk membentuk masyarakat yang mendaur ulang harus didiskusikan dan langkah-langkah tepat harus diambil untuk mewujudkan perkembangan masyarakat.

5. Efektivitas pengembangan dan pengenalan teknologi terkait dengan pemanfaatan sumber daya biomassa harus diakui dan pengembangan teknologi terkait melalui dukungan dan subsidi harus didorong.

6. Asosiasi untuk menggalakkan pemanfaatan sumber daya biomassa yang terdiri atas anggota-anggota dari negara-negara Asia harus diorganisir dan harus melaksanakan aktivitas mandiri.

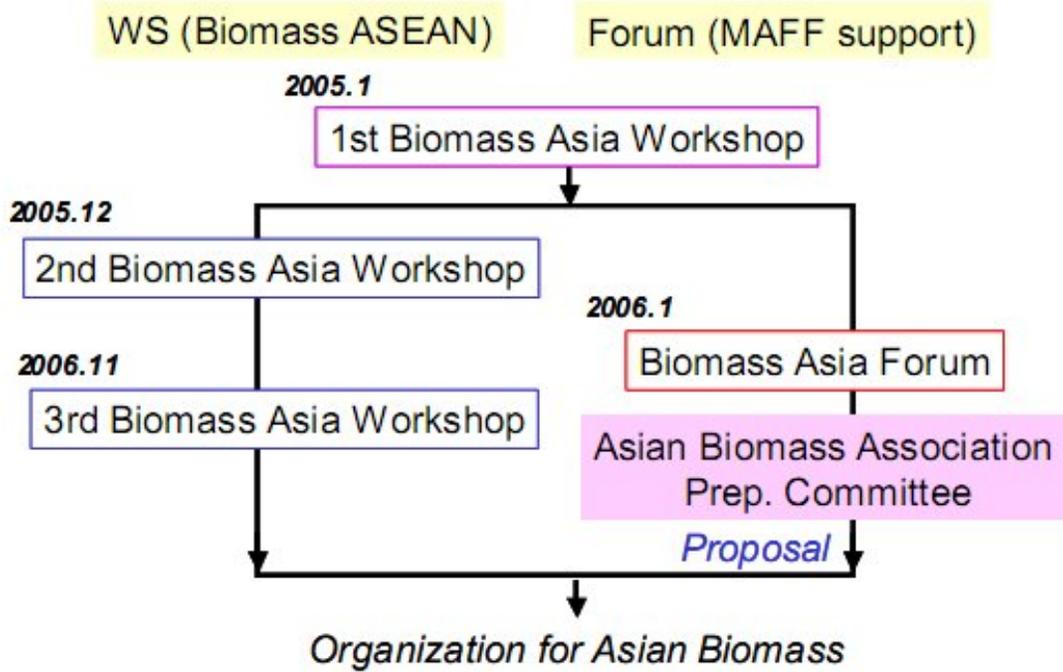
7. Pemanfaatan sumber daya biomassa harus berkontribusi pada perbaikan kondisi di semua negara; maka pemanfaatan biomassa yang berkontribusi pada solusi masalah kemiskinan, pencegahan terhadap kerusakan lingkungan dan penyakit, dan realisasi kualitas hidup yang lebih baik harus dipromosikan dan kebijakan untuk merealisasikan pemanfaatan tersebut harus diutamakan.

## **A1.2 Workshop Biomassa Asia dan Forum Biomassa Asia**

Strukturisasi jaringan yang bertujuan untuk berbagi informasi dikalangan para ahli terkait dengan biomassa Asia dan pengembangan kesepahaman bersama adalah penting. Ada 2 aliran untuk hal ini. Pertama adalah Forum Biomassa Asia yang dikelola terutama oleh Kementerian Pertanian, Kehutanan dan Perikanan Jepang dan kedua adalah Proyek biomassa ASEAN yang diinisiasi terutama oleh National Institute of Advanced and Industrial Science and Technology, Japan (AIST) dan Japan International Research Center for Agricultural Science (JIRCAS) dengan bantuan subsidi dari Kementerian Pendidikan, Budaya, Olahraga, Sains dan Teknologi, Jepang. Pada tahun 2004, kedua proyek ini dimulai secara terpisah, akan tetapi mulai disadari bahwa kedua proyek ini memiliki tujuan yang hampir sama, maka telah disetujui bahwa keduanya digabung menjadi satu bernama Workshop Biomassa Asia Pertama (1st Biomass Asia Workshop), yang diselenggarakan pada Januari 2005 di Tokyo dan Tsukuba, Jepang. Pada Desember 2005, Workshop Biomassa Asia kedua diselenggarakan di Bangkok, Thailand dan Forum Biomassa Asia diselenggarakan pada Januari 2006 di Tokyo. Melalui workshop dan forum ini, situasi biomassa di negara-negara Asia telah dikaji, dan tujuan penggunaan yang lebih efektif telah didiskusikan. Berdasarkan konsep ini, pengembangan jaringan telah didiskusikan pada Workshop biomassa Asia ketiga pada November, 2006. Diagram alir disajikan dalam Gambar 1 di bawah.

Workshop Biomassa Asia keempat telah diselenggarakan pada November, 2007 di Shah Alam, Malaysia. Workshop kelima diselenggarakan di China.

Sebagai gambaran umum terhadap aktivitas biomassa yang terakhir, program di dalam Workshop Biomassa Asia keempat juga disajikan disini.



Gambar A1.2.1. Acara yang berkaitan dengan jaringan pemanfaatan Biomassa Asia.

## **Workshop Biomassa Asia Keempat**

Tanggal: 20-22 November, 2007

Tempat: Grand Bluewave Hotel Shah Alam

Perbendaraan, Seksyen 14, 40000 Shah Alam, Selangor Darul Ehsan, Malaysia

### **Day 1 (Nov. 20, 2007)**

0830-0900 Registration

Opening Remarks

0900-0915 Tatsuo Katsura

Senior Vice President, AIST, on behalf of Representative of Biomass-Asia Research Consortium, Japan

0915-0930 Kunio Oguri

Deputy Director General, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council Secretariat, MAFF, Japan

0930-1000 Break

Special Lecture

Chair: Zainal Abidin Mohd Yusuf (Vice President, SIRIM, Malaysia)

1000-1030 Lignocellulose refinery system must be realized for global environment and economy

Kenji Iiyama

President, JIRCAS, Japan

1030-1100 Coffee Break

Plenary Lecture

Chair: Yasuyuki Yagi (Councillor, International Affairs Dept., AIST, Japan)

1100-1125 Food Security with Biofuels: FAO Perspective

Abdolreza Abbassian

Secretary of the Intergovernmental Group on Grains, FAO, UN

1125-1150 Biomass for Energi Generation in Malaysia

Anuar Abdurrahman

CEO Pusat Tenaga Malaysia (PTM)

1150-1215 Biomass for Material Application

Peesamai Jenvanitpanjakul

Deputy Governor, Thailand Institute of Scientific and Technological Research (TISTR), Thailand

1215-1240 Policy and legislation on Biofuel Utilization

Datu Dr. Michael Dosim Lunjew

Secretary General, Ministry of Plantation Industries and Commodities Malaysia  
1240-1420 Lunch / Poster Session

Keynote Speech

1430-1500 H.E. Dato' Sri Dr. Lim Keng Yaik  
Ministry of Energi, Water and Communication, Malaysia

Future Prospect of Biomass Utilisation in Asian Countries

Chair: Masayuki Kamimoto (Research Coordinator, AIST, Japan)

1500-1525 Biomass-Asia Project-Second Stage: Research and Technological Development for Sustainable Biomass utilization in Asian Countries

Kinya Sakanishi

Representative of Research Core for Asian Biomass Energi, AIST, Japan

1525-1550 The Road Map of Chinese Biomass Energi Development

Haibin Li

Guangzhou Institute of Energi Conversion (GIEC),  
Chinese Academy of Sciences (CAS), China

1550 -1610 Coffee Break

1610-1635 Rice-Sugarcane Complex Model

Klanarong Sriroth

Associate Professor, Department of Biotechnology, Faculty of Agro-Industry, Kasetsart University, Thailand

1635-1700 Palm Complex Model

Wahono Sumaryono

Deputy Chairman for Agroindustry and Biotechnology,  
Agency for Assessment and application of Technology (BPPT), Indonesia

- Panel Discussion –

Asian Partnership on Sustainable Environmentally Benign Biomass Production and Utilisation  
Moderator: Yukihiro Matsumura (Professor, Hiroshima University, Japan)

1700-1830

<Panelists>

China: The Development of Biofuels in China

Dehua Liu

Professor, Director of Institute of Applied Chemistry, Department of Chemical Engineering,  
Tsinghua University

Indonesia: Biofuel Development in Indonesia

Petrus Panaka

Professor, Project Development Advisor, PT Gikoko Kogyo Indonesia

Malaysia: Sustainable Biomass Production and Utilisation

- Profit, People and Planet –

Mohamad Ali Hassan

Dean, Faculty of Biotechnology and Biomolecular Sciences, University Putra Malaysia (UPM).

Philippines: Non-fossil Energi

Luis F. Razon

Director, University Research Coordination Office, Associate Professor, Department of Chemical Engineering, De La Salle University

Thailand: Asian Partnership on Sustainable Environmentally Benign Biomass Production and Utilization

Nuwong Chollacoop

National Metal and Materials Technology Center (MTEC),  
National Science and Technology Development Agency (NSTDA)

Vietnam: Seaweed: Potential Biomass for Ethanol Production

Truong Nam Hai

Deputy Director, Institute of Biotechnology,

Vietnamese Academy of Science and Technology (VAST)

2000-2130 Reception

Hosted by Dato 'Dr. Hali m Man

Secretary General for Ministry of Energi, Water and Communications, Malaysia

## **Day 2 (Nov. 21, 2007)**

### **<Room 1>**

Palm Oil Energi Complex Model

Chair: Chen Sau Soon (SIRIM, Malaysia)

Tomoaki Minowa (AIST, Japan)

0900-0920 Palm Oil Industry in Malaysia

Dato' Dr. Choo Yuen May,

Deputy Director-General, Malaysian Palm Oil Board

0920-0940 Electricity Generation from Palm Oil Mills in Indonesia  
(extended abstract)

Soni Solistia Wirawan

Head of Institute for Engineering  
and Technology System Design

(Engineering Center), BPPT,

Indonesia

0940 - 1000 Palm Oil Energi Complex dan CDM

Yoshihito Shirai

Professor, Graduate School of Life

Science and Systems Engineering,  
Kyushu Institute of Technology,  
Japan.

1000-1020 Potential of Oil Palm Trunk as a Source for Ethanol Production

Ryohei Tanaka

FFPRI, Japan

co-authored by Yutaka Mori (JIRCAS)

Mohd Nor Mohd Yusoff (FRIM)

Othman Sulaiman (USM)

Shu Yoshida (Sojitz Machinery Corporation)

1020-1040 Coffee Break

1040-1100 Biomass Plastics from Palm Oil Mill Effluent in Malaysia

Mohamad Ali Hassan

Dean, Faculty of Biotechnology

and Biomolecular Sciences,

University Putra Malaysia (UPM),

Malaysia

1100-1120 Co-firing of Biomass dengan Coal for Power Generation

Suthum Patumsawad

Assistant Professor , Department of Mechanical Engineering, King Mongkut s

Institute of Technology North

Bangkok (KMITNB), Thailand

1120-1140 Benchmarking of Biodiesel Fuel Standards for Vehicles in East Asia

Shinichi Goto

Director, Research Center for New

Biomass Technology Research

Center, AIST, Japan

1140 - 1200 Production of Second-Generation Biofuels dari Palm Wastes

Shinichi Yano

Senior Research Scientist,

Biomass Technology Research

Center, AIST, Japan

1200-1220 Discussion

**<Room 2>**

Utilisation of Agriculture and Wood Wastes

Chair:

Guangwen Xu (CAS, Cina)

Takahiro Yoshida (FFPRI, Japan)

Brazil: Brazilian Present and Future Ethanol Production - Biomass Ethanol Potential

Elba P.S. Bon

Associate Professor in Biochemistry,

Chemistry Institute,

Federal University of Rio de Janeiro

Cambodia: Biomass in Cambodia

Lieng Vuthy

Deputy Director, Departemen of

Energi Techique, Ministry of

Industry, Mines and Energi

China: High Efficient Conversion of Cellulosic Process Residue into Middle-Caloric Gas

Guangwen Xu

Professor, Institute of Process Engineering, CAS

Indonesia: Agricultural and Wood Waste Potentials and Utilization in Indonesia

Unggul Priyanto

Directore, Energi Resources Development Technology Center, BPPT

Japan: Biomass Refinery Systems-Case Study at Miyako Island, Japan-

Yoshiyuki Shinogi

Head, Laboratory of Farmland

Engineering, Departemen of Land and Water Resources, National Institute for Rural

Engineering, NARO

1020-1040 Coffee Break

Laos: Brief Report of Biomass in LAO PDR

Bouathep Malaykham

Chief of Electric Power Management

Division, Department of Electricity,

Ministry of Energi and Mines

Myanmar: Anhydrous Ethanol Production

Su Su Hlaing

Lecturer of Department of Chemical

Engineering, Mandalay

Technological University

Philippines: Outlook of Biomass Industry in the Philippines

Ruby B. De Guzman

Supervising Science Research

Specialist Alternative Fuels and

Energi Technology Division,

Department of Energi

Thailand: Zero Waste Agriculture for Jatropha Plantation  
Siriluck Nivitchanyong  
Assistant Director, MTEC,  
Alternative Energi Program Host,  
NSTDA

Vietnam: Utilization of Agricultural and Wood Wastes in Vietnam  
Tran Dinh Man  
Deputy Director, Institute of  
Biotechnology, VAST

Discussion  
Moderator's summary  
Moderator: Yukihiro Matsumura  
(Hiroshima University, Japan)

1220-1330 Lunch /Poster Session

For Sustainable Biomass Utilization  
Chair: Yoshihito Shirai (Professor, Kyushu Institute of Technology, Japan)  
1330-1355 Asia Biomass Community  
Issei Sawa  
Senior Manager, Liquid Biofuel, New Energi Business Unit, Mitsubishi Corporation, Japan  
1355-1420 Financing for Biomass and Renewable Energi Projects  
Mohd Nordin Che Omar  
Manager of High Technology, representing Chairman of Bank Pembangunan Malaysia  
1420-1445 Evaluation of Environmental Impacts of Biomass Utilisation by LCA  
Masayuki Sagisaka  
Deputy Director, Life Cycle Assessment Research Center, AIST, Japan  
1445-1510 improving Drought and Salt Stress Tolerance in Plants by Gene Transfer  
Yasunari Fujita  
Senior researcher, Biological Resources Division, JIRCAS, Japan

1530-1600 Coffee Break

Way Forward Session  
-Panel Discussion-  
Moderator: Shinya Yokoyama (Professor, The University of Tokyo, Japan)  
1600-1730 Moderator 's Summary: Energi Situation in Asian Region

<Panelists>  
Haibin Li, China  
Wahono Sumaryono, Indonesia

Kinya Sakanishi, Japan  
Mohamad Ali Hassan, Malaysia  
Peesamai Jenvanitpanjakul, Thailand  
Tran Dinh Man, Vietnam  
for the 5th Biomass-Asia Workshop

Closing Remarks

1730-1740 Masakazu Yamazaki

Vice President, AIST, Japan

1740-1750 Chen Sau Soon

Senior General Manager, Environment & bioprocess Technology Centre  
SIRIM, Malaysia

2000-2130 Workshop Dinner hosted by AIST

**Day 3 (Nov. 22, 2007)**

Technical tour

1. Waste to Energi Plant, Banting
2. Biodiesel Palm Oil Mill, Labu

### **A1.3 Asosiasi Biomassa Asia**

Dari hasil pembicaraan mengenai strukturisasi jaringan seperti yang dinyatakan dengan jelas di dalam Deklarasi Tokyo mengenai Biomassa Asia, pembentukan Asosiasi Biomassa Asia telah diajukan pada Forum Biomassa Asia.

Rekomendasi ini berdasarkan konsep bahwa aktivitas kerjasama konvensional pada biomassa Asia berbasis pada program-program yang dijalankan dengan anggaran yang khusus, dan biasanya saat program-program ini berakhir, maka aktivitasnya juga berakhir. Akan tetapi melalui pembentukan jaringan ini, ia dapat dilanjutkan, maka jaringan tersebut bebas dari anggaran yang spesifik. Sebagai contohnya, Kementerian Pertanian, Kehutanan dan Perikanan, Jepang tidak memiliki anggaran tetap untuk Forum biomassa Asia. Kementerian Pendidikan, Budaya, Olahraga, Sains dan Teknologi Jepang mendukung Proyek Biomassa ASEAN hanya selama 3 tahun. Jaringan yang terintegrasi sekian lama seharusnya tidak dihentikan dan aktivitas jaringan harus diteruskan meskipun anggaran tersebut berakhir. Oleh karena itu, strukturisasi kerangka asosiasi tersebut telah diputuskan.

Sebagai langkah awal, anggota persiapan telah diputuskan dan bekerja untuk mendiskusikan informasi lebih lanjut mengenai jaringan yang membolehkan aktivitas berbasis relawan tanpa anggaran. Nama jaringan disetujui secara tentatif sebagai Asosiasi Biomassa Asia (tentatif), dan kebijakan dasar berikut telah disetujui.

- Asosiasi Biomassa merupakan kelompok netral berbasis sukarela dan non politik
- Asosiasi ini terdiri atas anggota-anggota individu dan kelompok dan memiliki panitia pengarah (steering committee), panitia manajemen (management committee), dan jika diperlukan, kelompok kerja.
- Aktivitasnya adalah berdasarkan biaya keanggotaan, dan biaya keanggotaan yang ditetapkan oleh komite pemandu berdasarkan GDP per kapita untuk setiap negara.
- Aktivitas seperti manajemen daftar mail dan situs harus dibuat. Bila anggaran tersedia, maka penerbitan brosur, penyelenggaraan Konferensi biomassa Asia dan aktivitas-aktivitas lain melalui saran anggota-ahi harus dilaksanakan.

Anggota-anggota dari komite persiapan dipilih dari daftar yang hadir di Forum, setiap orang dari masing-masing 9 negara termasuk Jepang dan Dr. Shinya Yokoyama dinominasikan sebagai ketua. Manajemen panitia persiapan telah dikelola melalui kelompok penelitian SETA,

dimana Dr. Yokoyama menjabat sebagai Ketua Panitia Pengarah Internasional. Panitia persiapan ini memutuskan untuk memulai secara resmi acara Asosiasi Biomassa Asia pada Maret, 2008. Untuk tujuan ini, persetujuan berikut telah dibuat.

### **Persetujuan Asosiasi Biomassa Asia**

1. Asosiasi ini dikenal sebagai "Asosiasi Biomassa Asia" dan disingkat sebagai "ABA". Kerangka kerja jaringan ini berdasarkan aktivitas relawan dan harus bersifat netral dan bukan merupakan asosiasi politik.
2. Tujuan dari asosiasi ini adalah mencapai pemanfaatan biomassa Asia yang efektif berdasarkan Deklarasi Tokyo untuk biomassa Asia. Untuk tujuan ini, asosiasi telah berhasil mengelola situsnya dan juga mailing list untuk para anggota.
3. Anggota organisasi ini adalah perorangan atau kelompok dari negara-negara Asia yang berminat dengan tujuan asosiasi ini.
4. Organisasi ini memiliki badan sebagai berikut.  
Panitia Pengarah  
Panitia Manajemen  
Kelompok kerja
5. Panitia Pengarah terdiri atas perwakilan negara-negara Asia. Jumlah perwakilan adalah seorang untuk setiap negara. Wakil negara ditentukan berdasarkan diskusi diantara anggota-anggota dari negara itu sendiri.
6. Panitia Pelaksana memiliki seorang ketua yang dipilih dalam pemilu dikalangan anggota-anggota panitia. Masa jabatan ketua adalah 2 tahun dan dapat dipilih kembali maksimum 2 kali.

7. Panitia Pelaksana akan mengusulkan anggota Panitia Manajemen.
8. Panitia Pelaksana akan menentukan aktivitas asosiasi selain yang disajikan di atas, dan mempertanggungjawabkannya kepada Panitia Manajemen, dan juga pihak lain. Panitia Pelaksana menentukan tempat kantor asosiasi.
9. Panitia Pelaksana akan memulai dan mengakhiri Kelompok Kerja untuk aktivitas-aktivitas asosiasi.
10. Anggota-anggota Asosiasi termasuk anggota pribadi dan juga anggota kelompok. Penerimaan dan pengeluaran anggota membutuhkan persetujuan dari Panitia Pelaksana.
11. Biaya keanggotaan ditentukan oleh Panitia Pelaksana.
12. Perubahan pada persetujuan ini membutuhkan konstituen 2/3 dari jumlah anggota.

Manajemen mailing list dan situs dipercayakan kepada Japan Institute of Energy. Panitia Pengarah dari masing-masing negara disajikan dalam Tabel A1.3.1.

Tabel A1.3.1 Anggota Panitia Pengarah

| Negara    | Anggota Panitia Pelaksana   |
|-----------|-----------------------------|
| Jepang    | Prof. Shin-ya Yokoyama*     |
| Malaysia  | Prof. Mohamad Ali Hassan    |
| Filipina  | Dr. Jessie Cansanay Elauria |
| Indonesia | Dr. Petrus Panaka           |
| Vietnam   | Dr. Hai Nam Truong          |
| Cina      | Prof. Dehua Liu             |
| Thailand  | Dr. Paritud Bhandhubanyong  |
| Korea     | Dr. Jin-Suk Lee             |
| Taiwan    | Prof. Tzay-An Shiau         |
| Laos      | Mr. Bouathep Malaykham      |

## **A2. Protokol Kyoto**

### **A2.1 Konvensi Kerangka Kerja PBB tentang Perubahan Iklim (UNFCCC)**

Para Pihak yang terkait dengan Konvensi ini,

Mengakui bahwa perubahan iklim dunia dan efek buruknya adalah merupakan keprihatinan bagi umat manusia,

Prihatin bahwa aktivitas-aktivitas manusia telah menyebabkan peningkatan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer dan peningkatan ini telah merangsang efek rumah kaca secara alami, sehingga akan mengakibatkan penambahan pemanasan permukaan bumi dan atmosfer secara rata-rata serta dapat menyebabkan efek buruk terhadap ekosistem alami dan juga kepada manusia,

Menyadari bahwa efek tertinggi emisi gas rumah kaca dulu dan kini berasal dari negara-negara maju, dan emisi per kapita di negara-negara berkembang relatif masih rendah serta efek emisi global yang berasal dari negara-negara berkembang akan tumbuh dengan pesat untuk memenuhi kebutuhan sosial dan pembangunannya,

Kesadaran terhadap peran dan kepentingan ekosistem daratan dan lautan sebagai curah dan tambang untuk gas rumah kaca,

Menyadari bahwa ada berbagai ketidakpastian dalam perkiraan perubahan iklim, terutama terkait dengan kondisi waktu, magnitudo dan wilayah,

Mengakui bahwa sifat global terhadap perubahan iklim membutuhkan kerjasama yang luas dan memungkinkan oleh semua negara dan partisipasi mereka dalam respon internasional yang efektif dan tepat, sesuai dengan tanggungjawab mereka bersama yang dibedakan dan kemampuan serta kondisi social dan ekonomi masing-masing,

Mengingat ketentuan yang terkait dengan Deklarasi Konferensi Perserikatan Bangsa-Bangsa tentang Lingkungan Manusia seperti yang disetujui di Stockholm pada 16 Juni 1972,

Mengingat juga bahwa semua negara, berdasarkan Piagam Perserikatan Bangsa-Bangsa dan prinsip hukum internasional, hak kedaulatan untuk mengeksploitasikan sumber daya milik sendiri menurut kebijakan lingkungan dan perkembangan masing-masing, dan juga tanggungjawab untuk memastikan aktivitas-aktivitas di bawah yurisdiksi atau kontrolnya tidak menyebabkan kerusakan pada lingkungan negara-negara lain atau di daerah melampaui yurisdiksi negara,

Menegaskan prinsip kedaulatan negara-negara di dalam kerjasama internasional untuk mengatasi perubahan iklim,

Mengakui bahwa negara-negara wajib mendisain hukum lingkungan yang efektif, yang sesuai standar lingkungan, tujuan manajemen dan prioritas harus mengacu kepada konteks lingkungan dan pembangunan dimana ia digunakan, dan juga standar yang digunakan oleh beberapa negara mungkin tidak sesuai dan menyebabkan biaya ekonomi dan sosial yang tidak wajar terhadap negara lain, terutama negara-negara berkembang,

Mengingat ketentuan dalam ketetapan Majelis Umum 44/228 pada 22 Desember 1989, yaitu Konferensi PBB terkait dengan isu Lingkungan dan Pengembangan, dan ketetapan 43/53 pada 6 Desember 1988, 44/207 pada 22 Desember 1989, 45/212 pada 21 Desember 1990 dan 46/169 pada 19 Desember 1991 terkait perlindungan iklim global untuk generasi saat ini dan masa depan,

Mengingat ketentuan dalam ketetapan Majelis Umum 44/206 pada 22 Desember 1989 terkait dampak buruk akibat peningkatan tingkat air laut di daerah kepulauan dan perairan, terutama kawasan perairan yang rendah dan juga ketentuan dalam ketetapan Majelis Umum 44/172 pada 19 Desember 1989 terkait implementasi Rencana Aksi untuk Mengatasi Masalah Desertifikasi,

Mengingat lebih lanjut Konvensi Wina terkait Perlindungan Lapisan Ozon, 1985 dan juga Protokol Montreal terkait Bahan-Bahan yang Bisa Menipiskan Lapisan Ozon, 1987 seperti dimodifikasi dan diubah pada 29 Juni 1990,

Memperhatikan Deklarasi Ministerial terkait Konferensi Iklim Dunia Kedua yang digunakan pada 7 November 1990,

Menyadari akan pentingnya kerja analisis yang dilakukan di beberapa negara terkait perubahan iklim dan pentingnya kontribusi Organisasi Meteorologi Sedunia, Program Lingkungan PBB atau organisasi lain di dalam sistem PBB dan juga organisasi nasional dan antara pemerintah yang lain, untuk perubahan hasil penelitian ilmiah dan untuk tujuan koordinasi,

Mengakui bahwa langkah-langkah yang diperlukan untuk memahami dan mengatasi masalah perubahan iklim adalah paling efektif dari segi lingkungan, sosial dan ekonomi jika ia adalah berdasarkan pertimbangan ilmiah, teknis dan sosial yang relevan dan harus selalu dinilai kembali saat ada penemuan baru di bidang ini,

Mengakui bahwa berbagai tindakan yang diambil untuk mengatasi masalah perubahan iklim bisa dijustifikasikan dari segi ekonomi dan dapat membantu dalam menyelesaikan masalah lingkungan yang lain,

Mengakui akan kebutuhan negara maju untuk mengambil langkah segera dalam cara yang fleksibel berdasarkan prioritas yang jelas sebagai langkah pertama terhadap strategi respon yang komprehensif di tingkat global, internasional dan saat disetujui, pada tahap wilayah yang mempertimbangkan semua gas rumah kaca dengan pertimbangan terhadap kontribusi relatif ke efek buruk gas rumah kaca,

Mengakui juga bahwa negara-negara kepulauan yang berkawasan rendah dan kecil, dan juga negara-negara dengan wilayah perairan yang rendah, daerah gersang atau semi gersang, dan juga daerah cenderung banjir, kekeringan atau gurun, dan juga negara-negara berkembang dengan ekosistem pegunungan yang rapuh adalah paling mudah terkena dampak buruk perubahan iklim,

Mengakui kesulitan khusus negara-negara tersebut terutama negara-negara berkembang, dimana ekonominya adalah bergantung terutama pada produksi bahan bakar fosil, penggunaan dan ekspor, sebagai akibat dari tindakan batasan emisi gas rumah kaca,

Menegaskan bahwa respons terhadap perubahan iklim harus dikoordinasikan bersama dengan pembangunan sosial dan ekonomi dalam cara yang terintegrasi agar dapat menghindari dampak negatif, dengan memperhatikan prioritas wajib yang diperlukan untuk negara-negara berkembang ini untuk mencapai pembangunan ekonomi yang berkelanjutan dan memberantas masalah kemiskinan,

Mengakui bahwa semua negara, terutama negara-negara berkembang membutuhkan akses terhadap sumber daya yang diperlukan untuk mencapai pembangunan sosial dan ekonomi yang berkelanjutan, dan juga sebagai cara negara-negara berkembang ini untuk maju dengan tujuan demikian, penggunaan energi juga akan berkembang seiring dengan mempertimbangkan kemungkinan untuk mencapai efisiensi energi yang lebih tinggi dan juga mengontrol emisi gas rumah kaca, termasuk melalui aplikasi teknologi baru yang bermanfaat terhadap ekonomi dan juga sosial,

Bertekad untuk melindungi sistem iklim untuk generasi saat ini dan masa depan,

Disetujui sebagai berikut:

.....

PASAL 1  
DEFINISI\*

.....

Untuk tujuan Konvensi ini:

1. "Efek-efek buruk terhadap perubahan iklim" berarti perubahan terhadap lingkungan fisik atau biota sebagai akibat dari perubahan iklim yang mendatangkan efek mudarat pada

komposisi, ketahanan, atau produktivitas ekosistem alami dan terurus atau pada operasi sistem sosioekonomi atau pada kesehatan dan kesejahteraan manusia.

2. "Perubahan iklim" berarti perubahan pada iklim yang disebabkan secara langsung atau tidak langsung kepada aktivitas manusia yang mengubah komposisi atmosfer global dan juga tambahan pada keragaman iklim alami yang diamati dalam jangka waktu tertentu.
3. "Sistem iklim" berarti keseluruhan atmosfer, hidrosfer, biosfer dan geosfer serta interaksi diantaranya.
4. "Emisi" berarti pelepasan gas rumah kaca dan/atau prekursor ke atmosfer pada suatu daerah tertentu atau pada suatu waktu tertentu.
5. "Gas rumah kaca" berarti bahan-bahan dalam gas di atmosfer, termasuk alami dan antropogen, yang menyerap dan membebaskan kembali radiasi inframerah.
6. "Organisasi Integrasi Ekonomi Regional" berarti organisasi yang terdiri atas pemerintah negara untuk sesuatu daerah tersebut yang memiliki efisiensi dari segi urusan terkait dengan Konvensi ini dan juga protokolnya dan telah diberi kebenaran berlandaskan prosedur internal untuk menandatangani, menerima, menyetujui atau menyetujui pada undang-undang terkait.
7. "Penyimpanan" berarti suatu komponen atau komponen-komponen di dalam sistem iklim dimana gas rumah kaca atau prekursor gas rumah kaca disimpan.
8. "rosot" berarti setiap proses, aktivitas atau mekanisme yang menghilangkan gas rumah kaca, aerosol atau prekursor gas rumah kaca dari atmosfer.
9. "Sumber daya" berarti setiap proses atau aktivitas yang membebaskan gas rumah kaca, aerosol atau prekursor gas rumah kaca ke atmosfer.

\* Judul-judul dalam pasal disertakan hanya untuk membantu para pembaca

.....

## PASAL 2

### TUJUAN

.....

Tujuan utama Konvensi ini dan segala dokumen hukum yang terkait yang diadopsi oleh Konferensi Para Pihak adalah untuk mencapai, yang sesuai dengan ketentuan terkait dalam Konvensi, stabilisasi konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer pada tingkat yang bisa mencegah gangguan antropogen yang berbahaya terhadap sistem iklim. Tahap berikut dapat dicapai dalam jangka waktu yang cukup untuk mengizinkan ekosistem mengadaptasikan secara alami pada perubahan iklim, dan untuk memastikan produksi makanan tidak terancam dan juga memungkinkan pembangunan ekonomi secara berkelanjutan.

.....

### PASAL 3 PRINSIP

.....

Dalam tindakan-tindakan untuk mencapai tujuan Konvensi dan untuk melaksanakan ketetapannya, para Pihak wajib berpegang pada, INTER ALIA, oleh hal-hal sebagai berikut:

1. Para Pihak harus melindungi sistem iklim untuk manfaat generasi masa kini dan juga masa depan, berdasarkan keadilan dan berlandaskan Tanggungjawab dan kemampuan masing-masing yang umum tetapi berbeda. Oleh karena itu, Para Pihak dari negara maju harus memimpin usaha dalam memberantas perubahan iklim dan efek buruk yang disebabkan.
2. Kebutuhan-kebutuhan spesifik dan kondisi-kondisi khusus oleh Para Pihak negara berkembang terutama mereka yang berisiko terkena efek buruk perubahan iklim, dan juga untuk Para Pihak terutama negara berkembang yang akan menanggung beban yang tidak seimbang atau abnormal di bawah Konvensi ini harus diberi perhatian yang sepenuhnya.
3. Para Pihak harus mengambil tindakan pengamanan untuk mengantisipasi, mencegah atau meminimalkan sebab-sebab perubahan iklim dan mengurangi efek buruknya. Untuk kondisi dimana terdapat ancaman yang serius atau kerusakan irreversible, ketidakpastian ilmiah yang sepenuhnya terhadap masalah berikut tidak seharusnya digunakan sebagai alasan untuk memperlambat tindakan tersebut, dengan memperhatikan kebijakan-kebijakan dan langkah-langkah yang diambil untuk mengatasi masalah perubahan iklim harus efektif dari segi biaya untuk memastikan manfaat global pada biaya yang paling rendah. Untuk mencapai kondisi demikian, kebijakan-kebijakan dan langkah-langkah harus mempertimbangkan konteks sosioekonomi yang berbeda, komprehensif dan mencakup semua sumber, rosot dan penyimpanan yang relevan untuk gas rumah kaca, dan meliputi semua sektor ekonomi. Usaha untuk mengatasi masalah perubahan iklim dapat dilakukan secara gabungan Para Pihak yang berminat.
4. Para Pihak memiliki hak dan kewajiban mendorong pembangunan berkelanjutan. Kebijakan-kebijakan dan langkah-langkah untuk melindungi sistem iklim terhadap perubahan yang diinduksi manusia harus sesuai dengan kondisi spesifik setiap pihak dan harus diintegrasikan ke dalam program pembangunan nasional, dengan mempertimbangkan perkembangan ekonomi untuk menjalankan langkah-langkah dalam mengatasi masalah perubahan iklim.
5. Para Pihak harus bekerjasama untuk mempromosikan sistem ekonomi yang akan membawa kepada perkembangan ekonomi yang berkelanjutan dan pembangunan untuk semua pihak terutama negara berkembang untuk memungkinkan ia mengatasi masalah perubahan iklim dengan lebih efektif. Langkah-langkah untuk membasmi perubahan iklim, termasuk yang unilateral tidak seharusnya dilakukan dengan sewenang-wenang atau diskriminasi yang tidak dapat dijustifikasikan atau pembatasan samar terhadap perdagangan internasional.

.....

## PASAL 4 KOMITMEN

.....

1. Semua pihak, dengan mempertimbangkan tanggungjawab masing-masing yang umum tetapi berbeda, dan berdasarkan prioritas tertentu terhadap pembangunan nasional dan wilayah, tujuan dan kondisinya haruslah:
  - (a) Mengeluarkan, memperbaharui secara berkala, menerbitkan dan menyediakan kepada Konferensi Para Pihak berlandaskan pada Pasal 12, inventarisasi nasional emisi antropogen melalui sumber dan pencabutan dari rosot semua gas rumah kaca yang tidak diatur oleh Protokol Montreal, dengan menggunakan metodologi setara seperti yang disetujui oleh Konferensi Para Pihak;
  - (b) Memformulasikan, menjalankan, mempublikasikan dan memperbarui nasional yang sesuai program tingkat wilayah yang mengandung langkah-langkah untuk membasmi masalah perubahan iklim dengan mengatasi emisi antropogen dari sumber dan penyingkiran gas rumah kaca yang tidak diatur oleh Protokol Montreal, dan langkah-langkah untuk memfasilitasi penyesuaian terhadap perubahan iklim;
  - (c) Mempromosikan dan bekerjasama dalam pembangunan, aplikasi dan penyebaran, termasuk transfer teknologi, pelatihan dan proses yang mengontrol, mengurangi atau membasmi pembebasan antropogen gas rumah kaca yang tidak diatur oleh Protokol Montreal di dalam semua sektor yang relevan termasuk energi, transportasi, industri, pertanian, kehutanan dan sektor manajemen limbah;
  - (d) Mempromosikan manajemen berkelanjutan, dan bekerjasama dalam konservasi dan penguatan yang tepat terhadap semua rosot dan penyimpanan gas rumah kaca yang tidak diatur oleh Protokol Montreal termasuk biomassa, hutan dan lautan dan termasuk ekosistem daratan, perairan dan lautan;
  - (e) Bekerjasama dalam menyiapkan untuk penyesuaian terhadap dampak perubahan iklim; mengembangkan dan menjelaskan rencana yang wajar dan terpadu untuk manajemen zona perairan, sumber air dan pertanian, dan untuk perlindungan dan konservasi daerah terutama di Afrika yang dipengaruhi kemarau dan penggurunan, disamping banjir;
  - (f) Mempertimbangkan perubahan iklim sebagai pertimbangan yang mungkin saat menyusun kebijakan dan tindakan sosial, ekonomi dan lingkungan dan mengambil langkah yang tepat, misalnya penaksiran efek, yang diformulasikan dan ditetapkan untuk tingkat nasional, dengan tujuan untuk meminimalkan efek buruk terhadap ekonomi, kesehatan publik, dan juga terhadap kualitas lingkungan, atau proyek-proyek atau langkah-langkah yang diambil untuk mengatasi atau menyesuaikan terhadap perubahan iklim;
  - (g) Mempromosikan dan bekerjasama dalam penelitian ilmiah, teknologi, teknis, sosio-ekonomi dan lain-lain, pengamatan sistematis dan perkembangan arsip data yang terkait dengan sistem iklim dan bertujuan untuk pemahaman lebih lanjut dan mengurangi atau menghilangkan sama sekali ketidakpastian terkait penyebab,

efek-efek, magnitudo dan periode perubahan iklim dan juga efek-efek terhadap ekonomi dan sosial dari strategi respons yang bersangkutan;

- (h) Mempromosikan dan bekerjasama dalam pertukaran yang penuh, terbuka dari informasi ilmiah, teknologi, teknis, sosio-ekonomi dan hukum yang relevan terkait dengan sistem iklim dan perubahan iklim, dan juga efek-efek terhadap ekonomi dan sosial dari strategi respons yang bersangkutan;
- (i) Mempromosikan dan bekerjasama dalam pendidikan, pelatihan dan kesadaran umum terhadap perubahan iklim dan mendorong partisipasi semua dalam proses ini, termasuk dari organisasi bukan pemerintah; dan
- (j) Berkomunikasi terhadap informasi Konferensi Para Pihak terkait implementasi, berlandaskan Pasal 12.

2. Para Pihak negara maju dan Para Pihak lain termasuk di dalam Lampiran 1 menyatakan kesanggupan secara khusus sebagai terdaftar untuk hal berikut:

- (a) Setiap pihak harus mengamalkan kebijakan nasional dan mengambil langkah yang sesuai untuk mengatasi perubahan iklim dengan cara membatasi emisi antropogen gas rumah kaca, dan melindungi serta meningkatkan resiliensi dan penyimpanan gas rumah kaca. Kebijakan-kebijakan dan langkah-langkah berikut akan membuktikan bahwa negara-negara maju sedang memimpin dalam usaha untuk mengubah aliran jangka yang lebih panjang dalam pembebasan antropogen yang konsisten dengan tujuan Konvensi, mengidentifikasi bahwa pengembalian ke tingkat asal pembebasan antropogen karbondioksida dan gas rumah kaca yang lain yang tidak dikontrol oleh Protokol Montreal akan berkontribusi pada perubahan berikut, dan juga memperhatikan perbedaan titik awal dan pendekatan, struktur ekonomi, dan dasar sumber, kebutuhan untuk mempertahankan pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan, teknologi yang tersedia, dan juga kondisi individu yang lain, disamping kebutuhan untuk kontribusi yang adil dan wajar oleh semua pihak ini terhadap usaha global terkait tujuan ini. Para Pihak ini bisa melaksanakan kebijakan dan langkah-langkah bersama-sama dengan pihak lain dan dapat membantu pihak lain dalam kontribusi untuk mencapai tujuan konvensi dan terutama untuk sub ayat ini;
- (b) Sebagai cara untuk mempromosikan perkembangan demikian, setiap Pihak tersebut harus berkomunikasi dalam jangka waktu 6 bulan dalam Konvensi dan secara berkala setelah itu berlandaskan Pasal 12, informasi yang rinci terkait kebijakan-kebijakan dan langkah-langkah mengacu kepada sub ayat (a) di atas, disamping anggaran emisi antropogen gas rumah kaca melalui sumber dan juga pencabutan melalui benaman yang tidak dikontrol oleh Protokol Montreal untuk jangka waktu yang disebut di sub ayat (a), dengan tujuan untuk pengembalian secara individu atau bersama pada tahun 1990an untuk emisi antropogen karbondioksida dan gas rumah kaca lain yang tidak dikontrol oleh Protokol Montreal. Informasi terkait akan dikaji oleh Konferensi Para Pihak, pada sesi yang pertama dan selanjutnya secara berkala berlandaskan Pasal 7;
- (c) Perhitungan emisi melalui sumber dan degradasi melalui resor gas rumah kaca untuk tujuan sub ayat (b) di atas harus mempertimbangkan pengetahuan ilmiah yang ada, dan termasuk kapasitas efektif resor dan kontribusi gas berikut terhadap perubahan iklim. Konferensi Para Pihak harus mempertimbangkan dan menyetujui metodologi yang

digunakan dalam perhitungan berikut pada sesi yang pertama dan setelah itu meninjaunya secara rutin;

(d) Konferensi Para Pihak wajib, pada sesi pertama, meninjau kecukupan sub ayat (a) dan (b) di atas. Penelitian berikut harus dilakukan berdasarkan informasi ilmiah yang tersedia, dan penilaian terhadap perubahan iklim dan dampaknya, beserta informasi teknis, sosial dan ekonomi yang terkait. Berdasarkan penelitian ini, Konferensi Para Pihak harus mengambil langkah yang tepat termasuk menyetujui perubahan terhadap komitmen dalam sub ayat (a) dan (b) di atas. Konferensi Para Pihak pada sesi yang pertama harus mengambil keputusan terkait kriteria untuk implementasi bersama seperti yang ditampilkan dalam sub ayat (a) di atas. Pemeriksaan kedua untuk sub ayat (a) dan (b) harus berlangsung tidak lebih dari 31 Desember 1998, dan selanjutnya pada selang waktu tertentu seperti yang ditentukan oleh Konferensi Para Pihak, hingga tujuan Konvensi tercapai;

(e) Setiap pihak wajib:

i) Berkoordinasi dengan tepat bersama-sama dengan pihak lain, hal terkait ekonomi dan administrasi yang dirancang untuk mencapai tujuan Konvensi; dan

ii) Mengidentifikasi dan mengevaluasi semua secara kebijakan dan praktek sendiri yang mendorong aktivitas yang memungkinkan emisi antropogen gas rumah kaca yang tidak diatur oleh Protokol Montreal;

(f) Konferensi Para Pihak harus menilai, tidak lebih dari 31 Desember 1998, informasi yang ada dengan tujuan untuk mengambil keputusan terkait perubahan berikut terhadap daftar-daftar di dalam Lampiran I dan II dengan persetujuan dari pihak yang terkait;

(g) Setiap pihak yang tidak termasuk dalam Lampiran 1, dalam hal ratifikasi, penerimaan, persetujuan atau pada setiap saat setelah itu, memberitahu tempat penyimpanan yang ia berkeinginan untuk dimasukkan ke dalam sub ayat (a) dan (b) di atas. Pemegang Simpanan akan memberitahu penandatanganan bersama dan Para Pihak akan pemberitahuan tersebut.

3. Para Pihak dari negara maju dan pihak lain yang termasuk dalam Lampiran II wajib menyediakan sumber keuangan yang baru dan tambahan untuk menampung biaya penuh yang disetujui seperti yang bertanggung oleh pihak-pihak negara berkembang akibat memenuhi kewajiban seperti tunduk di bawah Pasal 12, ayat 1. Mereka juga harus menyediakan sumber keuangan termasuk untuk transfer teknologi yang diperlukan oleh pihak negara berkembang untuk menutup biaya penuh tambahan dari langkah-langkah yang diambil seperti yang diatur dalam ayat 1 pasal ini dan juga yang disetujui antara pihak negara berkembang dan entitas internasional atau badan-badan di dalam Pasal 11, berlandaskan pada Pasal tersebut. Pelaksanaan komitmen ini harus mempertimbangkan kebutuhan untuk kecukupan dan prediksi aliran dana dan juga kepentingan untuk sharing beban yang wajar diantara Para Pihak negara berkembang.

4. Para Pihak dari negara maju dan Para Pihak negara maju lainnya yang termasuk dalam Lampiran II wajib membantu Para Pihak negara berkembang terutama yang terkena dampak buruk perubahan iklim untuk menampung biaya penyesuaian terhadap efek buruk tersebut.

5. Para Pihak dari negara maju dan Para Pihak negara maju lainnya yang termasuk dalam Lampiran II wajib mengambil langkah-langkah praktis untuk mempromosikan, memfasilitasi dan membantu keuangan yang wajar, transfer atau akses teknologi yang ramah lingkungan kepada para Pihak lain terutama Para Pihak negara berkembang untuk memungkinkan mereka menjalankan ketentuan seperti di dalam Konvensi. Dalam proses ini, Para Pihak negara maju harus mendukung perkembangan dan penambahan kapasitas endogen dan teknologi untuk Para Pihak negara berkembang. Para Pihak dan organisasi lain yang berada dalam posisi untuk membantu dapat memberikan pertolongan untuk memudahkan transfer teknologi tersebut.
6. Di dalam pelaksanaan komitmennya di dalam ayat 2 di atas, fleksibilitas pada derajat tertentu harus diberikan izin oleh Konferensi Para Pihak terhadap Para Pihak yang termasuk dalam Lampiran I yang sedang mengalami proses transisi dari segi pasar ekonominya, sebagai cara untuk meningkatkan kemampuan para Pihak tersebut untuk mengatasi masalah perubahan iklim termasuk terkait dengan tingkat sejarah pembebasan antropogen gas rumah kaca yang tidak dikontrol oleh Protokol Montreal seperti yang dipilih sebagai referensi.
7. Sejauh mana Para Pihak negara berkembang dapat melaksanakan komitmen mereka secara efektif di bawah Konvensi ini adalah bergantung pada pelaksanaan efektif oleh Para Pihak negara maju akan komitmen mereka di bawah Konvensi yang berkaitan dengan sumber keuangan dan transfer teknologi dan akan mengambil penuh pertimbangan terhadap pembangunan ekonomi dan sosial dan pengentasan kemiskinan merupakan prioritas untuk Para Pihak negara berkembang.
8. Dalam pelaksanaan komitmen-komitmen di dalam Pasal ini, Para Pihak harus memberikan sepenuhnya kepentingan tindakan yang diperlukan di bawah Konvensi ini, termasuk tindakan yang terkait dengan anggaran, asuransi, dan transfer teknologi untuk memenuhi kebutuhan spesifik dan kekhawatiran oleh Para Pihak negara berkembang yang bersumber dari efek buruk akibat perubahan iklim dan/atau dampak dari pelaksanaan langkah-langkah solusi, terutama pada:
  - (a) Negara-negara kepulauan kecil
  - (b) Negara-negara dengan wilayah perairan yang rendah
  - (c) Negara-negara dengan wilayah gersang dan semi gersang, daerah kehutanan dan wilayah yang terkena kemerosotan hutan;
  - (d) Negara-negara dengan wilayah terkena bencana alam;
  - (e) Negara-negara dengan wilayah terkena kekeringan dan desertifikasi
  - (f) Negara-negara dengan wilayah pencemaran atmosfer kota yang tinggi;
  - (g) Negara-negara dengan wilayah dengan ekosistem yang rapuh, termasuk ekosistem pegunungan;

(h) Negara-negara yang ekonominya sangat bergantung pada pendapatan yang diperoleh dari produksi, pemrosesan dan ekspor, dan/atau konsumsi bahan bakar fosil dan produk-produk intensif energi yang terkait dengannya; dan

(i) Negara-negara dilingkupi daratan dan transit.

Selanjutnya, Konferensi Para Pihak dapat mengambil tindakan, sesuai dan mengacu pada ayat ini.

9. Para Pihak wajib mempertimbangkan sepenuhnya kebutuhan spesifik dan situasi khusus untuk negara-negara paling kurang berkembang untuk tindakan mereka termasuk pendanaan dan transfer teknologi.

10. Para Pihak wajib, berlandaskan Pasal 10, memberikan pertimbangan dalam pelaksanaan komitmen-komitmen dalam Konvensi terhadap situasi Para Pihak terutama Para Pihak negara berkembang, dengan ekonomi yang terkena dampak buruk pelaksanaan akibat langkah-langkah terhadap perubahan iklim. Hal ini meliputi Para Pihak dengan ekonomi yang sangat bergantung pada pendapatan yang dihasilkan dari produksi, pengolahan dan ekspor, dan/atau konsumsi bahan bakar fosil dan produk-produk intensif energi yang terkait dengannya dan/atau penggunaan bahan bakar fosil dimana Para Pihak ini memiliki kesulitan untuk mengubah ke alternatif lain.

.....

PASAL 5  
PENELITIAN DAN PENGAMATAN SISTEMATIK

.....

Dalam menjalankan komitmen-komitmen di bawah Pasal 4, ayat 1 (g), Para Pihak wajib:

(a) Membantu dan mengembangkan lebih lanjut seperti yang sesuai dengan program-program dan jaringan atau organisasi yang bertujuan untuk mendefinisikan, menjalankan, mengevaluasi dan membiayai penelitian, pengumpulan data, dan pengamatan sistematis dan mengambil pertimbangan terhadap kebutuhan untuk meminimalkan duplikasi langkah-langkah ini;

(b) Membantu usaha-usaha internasional dan antar pemerintah untuk memperkuat pengamatan sistematis dan kapasitas serta kemampuan penelitian ilmiah dan teknis nasional, terutama di negara-negara berkembang dan mempromosikan akses ke, dan perubahan data dan analisis yang diperoleh dari wilayah di luar yurisdiksi nasional; dan

(c) Mempertimbangkan kekhawatiran dan kebutuhan khusus negara-negara berkembang dan bekerjasama untuk memperbaiki kapasitas dan kemampuan endogennya untuk memungkinkan mereka berpartisipasi di dalam usaha-usaha seperti yang disebut di dalam sub ayat (a) dan (b) di atas.

.....

PASAL 6  
PENDIDIKAN, PELATIHAN, DAN KESADARAN UMUM

.....

Dalam melaksanakan komitmen-komitmen di bawah Pasal 4, ayat 1 (i), Para Pihak wajib:

- (a) Mempromosikan dan memfasilitasi pada tingkat nasional dan juga di tingkat subwilayah dan wilayah, dan di dalam kapasitas masing-masing:
  - (i) Perkembangan dan pelaksanaan program-program pendidikan dan kesadaran umum terhadap perubahan iklim dan efek-efeknya;
  - (ii) Akses umum terhadap informasi perubahan iklim dan efek-efeknya;
  - (iii) Partisipasi umum dalam mengatasi perubahan iklim dan efek-efeknya serta dalam mengembangkan respon yang cukup; dan
  - (iv) Pelatihan staf ilmiah, teknis dan manajemen.
- (b) Bekerjasama dan mempromosikan pada tingkat nasional, yang dianggap sesuai, dengan menggunakan badan-badan yang ada:
  - (i) Perkembangan dan perubahan bahan-bahan pendidikan dan kesadaran umum terhadap perubahan iklim dan efek-efeknya; dan
  - (ii) Pengembangan dan pelaksanaan program pendidikan dan pelatihan, termasuk memperkuat institusi nasional dan perubahan atau pertukaran staf untuk melatih para ahli di dalam bidang ini, terutama untuk negara-negara berkembang.

.....

PASAL 7  
KONFERENSI PARA PIHAK

.....

1. Konferensi Para Pihak dengan ini dibentuk.
2. Konferensi Para Pihak, sebagai badan tertinggi Konvensi ini, harus selalu menilai pelaksanaan Konvensi dan setiap dokumen hukum yang Konferensi Para Pihak telah setuju, dan harus membuat, di dalam mandatnya, keputusan untuk mempromosikan pelaksanaan konvensi yang efektif. Dan untuk tujuan ini, maka wajib:
  - (a) Memeriksa secara berkala, kewajiban-kewajiban Para Pihak, dan juga penyusunan lembaga di bawah Konvensi yang sejalan dengan tujuan Konvensi, pengalaman yang diperoleh dari pelaksanaannya dan juga perkembangan pengetahuan ilmiah dan teknologi.

- (b) Mempromosikan dan memfasilitasi pertukaran informasi mengenai langkah-langkah yang dilakukan oleh Para Pihak untuk mengatasi perubahan iklim dan efek-efeknya, dengan mempertimbangkan kondisi yang berbeda, tanggungjawab dan kemampuan Para Pihak dan komitmen-komitmen masing-masing di bawah Konvensi;
  - (c) Memfasilitasi, jika ada permintaan 2 atau lebih Para Pihak, koordinasi tindakan-tindakan yang diambil oleh mereka untuk mengatasi perubahan iklim dan efek-efeknya, dengan mempertimbangkan kondisi yang berbeda, tanggungjawab dan kemampuan Para Pihak dan komitmen-komitmen masing-masing di bawah Konvensi;
  - (d) Mempromosikan dan memberikan panduan, berlandaskan tujuan dan ketentuan Konvensi, perkembangan dan perbaikan berkala metodologi yang sama seperti yang disetujui oleh Konferensi Para Pihak, antara lain, dalam penyediaan inventarisasi untuk emisi gas rumah kaca melalui sumber dan degradasi melalui rosot, dan untuk penilaian efektivitas langkah-langkah untuk membatasi emisi dan meningkatkan degradasi gas tersebut;
  - (e) Menilai, berdasarkan informasi yang tersedia berlandaskan ketentuan Konvensi, pelaksanaan Konvensi itu oleh Para Pihak, efek keseluruhan langkah-langkah yang telah diambil menurut Konvensi, terutama dampak lingkungan, ekonomi dan sosial termasuk dampak kumulatifnya dan juga sejauh mana kemajuan terhadap tujuan Konvensi ini telah tercapai;
  - (f) Mempertimbangkan dan melaksanakan laporan rutin terkait implementasi Konvensi dan memastikan penerbitannya;
  - (g) Membuat rekomendasi terhadap segala hal terkait dengan implementasi Konvensi;
  - (h) Mendapatkan sumber keuangan berlandaskan Pasal 4, ayat 3, 4 dan 5, dan Pasal 11;
  - (i) Membuat badan-badan perwakilan yang dianggap perlu untuk pelaksanaan Konvensi;
  - (j) Menilai laporan yang dikirim oleh badan-badan perwakilan dan memberikan panduan kepadanya;
  - (k) Menyetujui dan melaksanakan, melalui konsensus, peraturan prosedur dan peraturan keuangan untuk diri sendiri dan juga untuk badan-badan perwakilan;
  - (l) Mencari dan menggunakan dengan tepat, layanan dan kerjasama, dan informasi seperti yang diberikan oleh organisasi internasional dan antara pemerintah dan badan-badan bukan pemerintah; dan
  - (m) Melakukan fungsi-fungsi seperti yang diperlukan untuk mencapai tujuan Konvensi dan juga fungsi-fungsi lain yang diberikan seperti dalam Konvensi.
3. Konferensi Para Pihak wajib, pada sesi pertama, melaksanakan peraturan prosedur untuk diri sendiri dan juga untuk badan-badan perwakilan yang dibuat oleh Konvensi, dimana ia juga melibatkan prosedur-prosedur pembuat keputusan untuk hal-hal yang bukan di dalam prosedur-prosedur pembuat keputusan seperti yang diatur oleh Konvensi.

Prosedur-prosedur seperti itu dapat melibatkan mayoritas spesifik yang diperlukan untuk pelaksanaan keputusan itu.

4. Sesi pertama Konferensi haruslah disebut oleh Sekretariat sementara seperti yang disebut dalam Pasal 21, dan harus mengambil tempat tidak lebih dari setahun setelah tanggal masuk Konvensi. Setelah itu, sesi biasa untuk Konferensi harus dilakukan setiap tahun kecuali apa yang disetujui oleh Konferensi Para Pihak.
5. Sesi luar biasa untuk Konferensi Para Pihak harus dilakukan pada waktu selain dari itu seperti yang dianggap wajar oleh Konferensi, atau berdasarkan permintaan tertulis oleh setiap Pihak, dengan ketentuan dalam jangka waktu 6 bulan permintaan itu disampaikan kepada semua pihak oleh Sekretariat dan didukung setidaknya sepertiga dari Para Pihak.
6. Perserikatan Bangsa-Bangsa, badan khusus dan juga Badan Energi Atom Internasional, dan juga setiap anggota-anggota Negara atau pengamat yang bukan bagian dari Konferensi Para Pihak dapat diwakili saat sesi Konferensi sebagai pengamat. Apapun badan atau lembaga baik nasional atau internasional, pemerintah atau bukan pemerintah yang layak dalam hal yang tercakup dalam Konvensi, dan telah menginginkan ke sekretarian untuk diwakili selama sesi Konferensi Para Pihak sebagai pengamat dapat dibenarkan melainkan setidaknya sepertiga dari Para Pihak yang hadir. Perizinan dan partisipasi sebagai pengamat adalah bergantung pada peraturan prosedur seperti yang dilaksanakan oleh Konferensi Para Pihak.

.....

PASAL 8  
SEKRETARIAT

.....

1. Sekretariat dengan ini ditetapkan.
2. Fungsi-fungsi Sekretariat adalah sebagai berikut:
  - (a) Mengelola sesi-sesi Konferensi Para Pihak dan badan-badan perwakilan yang dibuat di bawah Konvensi dan menyediakan mereka dengan layanan yang diperlukan;
  - (b) Mengumpulkan dan menyampaikan laporan yang dikirim kepadanya;
  - (c) Memfasilitasi bantuan kepada Para Pihak, terutama Para Pihak negara berkembang ketika Ada permintaan untuk mengumpulkan dan menyampaikan informasi terkait berlandaskan ketentuan dalam Konvensi;
  - (d) Untuk menyediakan laporan terkait aktivitas-aktivitasnya dan menyampaikannya kepada Konferensi Para Pihak;
  - (e) Memastikan koordinasi yang penting dengan Sekretariat-Sekretariat badan-badan internasional lain yang terkait;

- (f) Memasukkan, di bawah bimbingan keseluruhan Konferensi Para Pihak, ke dalam pengaturan administratif dan kontrak yang mungkin diperlukan untuk efektivitas pelaksanaan fungsinya,
  - (g) Menjalankan fungsi-fungsi lain Sekretariat seperti yang ditentukan oleh Konvensi dan di dalam setiap protokol atau fungsi-fungsi lain seperti yang ditentukan oleh Konferensi Para Pihak.
3. Konferensi Para Pihak, pada sesi pertama, wajib mengangkat sekretariat tetap dan membuat urusan untuk fungsinya.

.....

PASAL 9  
 BADAN PENDUKUNG PERTIMBANGAN SAINS DAN TEKNOLOGI

.....

- 1. Badan pendukung pertimbangan sains dan teknologi dengan ini dibuat untuk menyediakan Konferensi Para Pihak dan, yang sesuai, untuk badan-badan perwakilan lain dengan informasi dan pertimbangan sains dan teknologi yang terkait dengan Konvensi. Badan ini harus terbuka pada partisipasi dari semua pihak dan harus dari berbagai disiplin ilmu. Ia harus terdiri atas wakil-wakil pemerintah yang pakar dalam bidang yang relevan. Ia harus melaporkan secara rutin kepada Konferensi Para Pihak dalam segala aspek terkait tugasannya.
- 2. Di bawah panduan Konferensi Para Pihak, dan berdasarkan badan-badan internasional lain yang lebih kompeten, maka badan ini wajib:
  - (a) Menyediakan penilaian terhadap tingkat pengetahuan terkait dengan perubahan iklim dan juga efek-efeknya;
  - (b) Menyediakan penilaian ilmiah akan efek pengukuran yang diambil dalam pelaksanaan Konvensi;
  - (c) Mengenal teknologi yang inovatif, efisien dan mutakhir serta keahlian teknis terkait cara-cara dan sumber untuk mempromosikan perkembangan dan/atau transfer teknologi tersebut;
  - (d) Memberikan nasihat terkait program ilmiah, kerjasama internasional dalam penelitian dan pengembangan terkait perubahan iklim, dan juga terhadap cara dan langkah untuk membantu pembangunan kapasitas endogen di dalam negara-negara berkembang; dan
  - (e) Memberikan masukan terhadap persoalan ilmiah, teknologi dan metodologi yang ditujukan oleh Konferensi Para Pihak dan juga badan-badan perwakilannya.
- 3. Fungsi dan bidang tugas badan ini dapat dijelaskan secara lebih lanjut oleh Konferensi Para Pihak.

.....

PASAL 10  
BADAN PERWAKILAN UNTUK IMPLEMENTASI

.....

1. Badan perwakilan untuk implelementasi dengan ini dibuat untuk membantu Konferensi Para Pihak dalam menilai dan meninjau pelaksanaan Konvensi ini secara efektif. Badan ini harus terbuka untuk partisipasi dari semua pihak dan terdiri atas wakil-wakil pemerintah yang merupakan pakar dalam bidang perubahan iklim. Ia harus melaporkan secara rutin kepada Konferensi Para Pihak terkait semua aspek dalam tugasannya.
  2. Di bawah panduan Konferensi Para Pihak, badan ini harus:
    - (a) Mempertimbangkan informasi yang disampaikan berlandaskan Pasal 12, ayat 1, untuk menilai efek keseluruhan beragregat terhadap langkah-langkah yang diambil oleh Para Pihak akibat dari penilaian ilmiah terakhir yang terkait dengan perubahan iklim;
    - (b) Mempertimbangkan informasi yang disampaikan berlandaskan pada Pasal 12, ayat 2, sebagai cara untuk membantu Konferensi Para Pihak melakukan kajian kembali seperti yang diperlukan pada Pasal 4, ayat 2 (d); dan
    - (c) Membantu Konferensi Para Pihak, dengan tepat dalam penyediaan dan pelaksanaan keputusannya
- .....

PASAL 11  
MEKANISME KEUANGAN

.....

1. Mekanisme untuk penyediaan sumber keuangan dalam bentuk hibah atau berbasis konsesi, termasuk transfer teknologi, dengan ini didefinisikan. Ia wajib bekerja di bawah panduan dan bertanggung jawab kepada Konferensi Para Pihak yang harus menentukan kebijakan, prioritas program dan kriteria kelayakan yang terkait dengan Konvensi ini. pekerjaannya harus dipertanggungjawabkan kepada satu atau lebih entitas internasional yang ada.
2. Mekanisme keuangan harus memiliki perwakilan yang adil dan seimbang dari semua pihak di dalam satu sistem yang transparan dari segi tata urusnya.
3. Konferensi Para Pihak dan badan atau badan-badan yang bertanggung jawab dengan pekerjaan mekanisme keuangan harus setuju untuk mempengaruhi ayat di atas, yang mana ia harus termasuk hal yang berikut:

- (a) Modalitas untuk memastikan proyek yang didanai untuk mengatasi masalah perubahan iklim adalah menurut kebijakan, prioritas program dan kriteria kelayakan yang ditetapkan oleh Konferensi Para Pihak;
  - (b) Modalitas dimana keputusan terhadap sesuatu anggaran harus dipertimbangkan kembali berdasarkan kebijakan, prioritas program dan kriteria kelayakan ini;
  - (c) Ketentuan oleh entitas atau entitas-entitas dari laporan rutin Konferensi Para Pihak pada operasi anggaran, yang konsisten dengan kebutuhan untuk kebertanggungjawaban seperti yang diperlukan dalam ayat 1 di atas; dan
  - (d) Penentuan dalam pemrograman yang dapat diperkirakan dan dikenal dari jumlah anggaran yang diperlukan dan tersedia untuk pelaksanaan Konvensi ini dan kondisi-kondisi dimana jumlah ini akan diperiksa kembali secara berkala.
4. Konferensi Para Pihak harus membuat penyusunan untuk melaksanakan ketentuan di atas pada sesi pertama, meninjau dan mempertimbangkan penyusunan sementara seperti yang disebut pada Pasal 21, ayat 3, harus menentukan apakah susunan sementara ini harus dipertahankan. Dalam jangka waktu 4 tahun setelah itu, Konferensi Para Pihak harus menilai kembali mekanisme keuangan ini dan mengambil langkah yang tepat.
5. Para Pihak negara maju mungkin juga menyediakan keuangan dan para pihak negara berkembang dapat menggunakan sumber keuangan yang terkait dengan pelaksanaan Konvensi ini melalui jaringan bilateral, regional dan juga multilateral lainnya.

.....

PASAL 12  
KOMUNIKASI INFORMASI TERKAIT PELAKSANAAN

.....

1. Berdasarkan Pasal 4, ayat 1, setiap pihak harus berkomunikasi dengan Konferensi Para Pihak, melalui Sekretariat, elemen-elemen informasinya sebagai berikut:
- (a) Inventarisasi nasional terkait emisi antropogen dari sumber dan pencabutan dari rosot semua gas rumah kaca yang tidak diatur oleh Protokol Montreal, titik batas kapasitasnya, dengan menggunakan metodologi sebanding untuk dipromosikan dan disetujui oleh Konferensi Para Pihak;
  - (b) Gambaran umum langkah-langkah yang telah diambil atau direncanakan oleh Pihak untuk melaksanakan Konvensi; dan

- (c) Informasi lain yang dianggap relevan oleh Para Pihak terhadap pencapaian tujuan Konvensi dan sesuai untuk dimasukkan dalam komunikasinya, termasuk, jika memungkinkan, segala bahan yang terkait dengan perhitungan aliran emisi global.
2. Setiap Pihak negara maju dan Pihak lain yang termasuk dalam Lampiran 1 wajib menggabungkan dalam komunikasinya unsur berikut dalam informasinya:
- (a) Gambaran rinci akan kebijakan dan langkah-langkah yang telah diambil untuk melaksanakan komitmennya di bawah Pasal 4, ayat 2(a) dan 2(b); dan
- (b) Anggaran spesifik efek kebijakan-kebijakan dan langkah-langkah yang disebut dalam sub ayat (a) di atas terhadap emisi antropogen dari sumbernya dan pembuangannya dari rumah kaca dalam jangka seperti yang disebut dalam Pasal 4, ayat 2(a).
3. Sebagai tambahan, setiap Pihak negara maju dan Pihak negara maju lainnya yang termasuk dalam Lampiran II harus menggabungkan secara rinci langkah-langkah berlandaskan Pasal 4, ayat 3, 4 dan 5.
4. Para Pihak negara berkembang, pada basis relawan, mengusulkan proyek-proyek untuk pembiayaan termasuk teknologi-teknologi spesifik, bahan, peralatan, teknik atau praktek yang diperlukan untuk melaksanakan proyek-proyek berikut, disamping jika mungkin, anggaran semua biaya tambahan, untuk pengurangan emisi dan tambahan dari degradasi gas rumah kaca, disamping juga anggaran dari keuntungannya.
5. Setiap Pihak negara berkembang dan Pihak lain termasuk dalam Lampiran 2 harus menyampaikan komunikasinya yang pertama dalam jangka waktu 6 bulan dari keterlibatannya dalam Konvensi. Setiap Pihak yang tidak terdaftar harus menyampaikan komunikasinya yang pertama dalam jangka waktu 3 tahun dari keterlibatannya dalam Konvensi untuk Pihak berikut, atau ketika tersedianya sumber keuangan berlandaskan Pasal 4, ayat 3. Para Pihak dari negara-negara paling kurang maju dapat menyampaikan komunikasinya yang pertama menurut kebijaksanaannya sendiri. Frekuensi komunikasi berikutnya oleh setiap Pihak harus ditentukan oleh Konferensi Para Pihak, dengan mempertimbangkan jadwal waktu yang berbeda yang ditentukan berdasarkan ayat ini.
6. Informasi yang disampaikan kepada Para Pihak di bawah Pasal ini harus disalurkan oleh Sekretariat secepat mungkin pada Konferensi Para Pihak dan kepada setiap badan perwakilan lain yang terkait. Jika diperlukan, prosedur untuk komunikasi informasi dapat dipertimbangkan oleh Konferensi Para Pihak.
7. Dari sesi pertama, Konferensi Para Pihak harus mengatur ketentuan untuk Para Pihak negara berkembang mengenai bantuan teknis dan keuangan, dan jika ada permintaan, dalam mengumpulkan dan menyampaikan informasi di bawah Pasal ini, disamping mengidentifikasi kebutuhan teknis dan keuangan yang terkait dengan proyek yang

diajukan, serta respons di bawah Pasal 4. Dukungan seperti ini dapat diberikan oleh Pihak lain, atau organisasi internasional yang kompeten dan oleh Seketariat, jika sesuai.

8. Grup Para Pihak, bergantung pada panduan yang digunakan oleh Konferensi Para Pihak, dan setelah pemberitahuan kepada Konferensi Para Pihak, menyampaikan komunikasi bersama untuk memenuhi kewajiban mereka di bawah Pasal ini, dengan persyaratan komunikasi tersebut mengandung informasi terkait pencapaian setiap Pihak terhadap kewajibannya di bawah Konvensi ini.
9. Informasi yang diterima oleh Seketariat yang ditetapkan oleh Para Pihak sebagai rahasia, berlandaskan kriteria yang ditetapkan oleh Konferensi Para Pihak, harus dikumpulkan oleh Seketariat untuk melindungi kerahasiaannya sebelum ia diberikan kepada setiap badan yang terlibat dalam komunikasi tersebut dan penilaian informasi.
10. Berdasarkan ayat 9 di atas, dan tanpa prasangka terhadap kemampuan apa pun dari Para Pihak untuk membuat pengumuman publik terhadap komunikasi ini kapan pun, Seketariat harus menyampaikan komunikasi dari Para Pihak di bawah Pasal ini ke umum pada saat ia dikirim ke Konferensi Para Pihak.

.....

**PASAL 13**  
**RESOLUSI TERHADAP PERTANYAAN BERHUBUNGAN PELAKSANAAN**

.....

Konferensi Para Pihak wajib, pada sesi pertama, mempertimbangkan pembentukan proses negosiasi multilateral, tersedia untuk Para Pihak jika ada permintaan, untuk resolusi terhadap pertanyaan-pertanyaan terkait dengan pelaksanaan Konvensi.

.....

**PASAL 14**  
**PENYELESAIAN PERTIKAIAN**

.....

1. Jika terjadi perselisihan antara 2 atau lebih Para Pihak terkait interpretasi atau aplikasi Konvensi, Para Pihak tersebut wajib mencari solusi terhadap pertikaian melalui negosiasi atau cara lain secara aman berdasarkan pilihan sendiri.

2. Jika sedang meratifikasi, menerima, menyetujui atau menyepakati Konvensi, atau kapan pun setelah itu, Pihak yang bukan termasuk organisasi integrasi ekonomi regional dapat mengumumkan melalui cara tertulis pada tempat penyimpanan, yang merujuk pada setiap perselisihan terhadap interpretasi atau aplikasi Konvensi, mengakui sebagai fakta kewajiban dan tanpa persetujuan khusus, terhadap apapun Pihak yang menerima kewajiban yang sama:

(a) Pengiriman perselisihan itu kepada Mahkamah Internasional, dan/atau

(b) Arbitrasi berlandaskan prosedur yang dilakukan oleh Konferensi Para Pihak sesegera mungkin, di dalam lampiran arbitrasi.

Pihak yang merupakan organisasi integrasi ekonomi wilayah bisa membuat deklarasi terkait dengan arbitrasi berlandaskan pada prosedur yang disebut di dalam sub ayat (b) di atas.

3. Deklarasi yang dilakukan di bawah ayat 2 di atas harus tetap berlaku hingga berakhir berdasarkan ketentuannya atau hingga 3 bulan setelah pemberitahuan tertulis terkait pembatalannya telah disimpan pada tempat penyimpanan.

4. Deklarasi baru, pemberitahuan pencabutan atau berakhirnya deklarasi dengan cara apapun tidak akan mempengaruhi proses sementara sebelum Mahkamah Internasional atau pengadilan arbitrasi, kecuali Para Pihak yang berselisih menyetujuinya.

5. Berlandaskan operasi ayat 2 di atas, jika setelah 12 bulan setelah pemberitahuan dari salah satu pihak ke pihak yang lain akan adanya perselisihan antara mereka, Para Pihak terkait tidak dapat menyelesaikan perselisihan mereka melalui cara yang disebut dalam ayat 1 di atas, maka perselisihan tersebut harus dikirim dengan permintaan dari pihak pertikaian untuk perdamaian.

6. Komisi perdamaian wajib didirikan berdasarkan permintaan dari salah satu pihak dalam perselisihan itu. Komisi ini harus terdiri atas jumlah anggota yang seimbang yang ditunjuk oleh setiap pihak terkait dan ketuanya harus dipilih bersama dari anggota-anggota yang ditunjuk oleh setiap pihak. Komisi harus memberikan sertifikasi, dimana kedua pihak menerimanya dengan itikad baik.

7. Prosedur tambahan terkait dengan perdamaian harus dilakukan oleh Konferensi Para Pihak, sesegera mungkin, di dalam lampiran perdamaian.

8. Ketentuan-ketentuan pada Pasal ini akan berlaku untuk setiap instrument hukum terkait dimana konferensi para pihak dapat memakainya, kecuali undang-undang menyediakan sebaliknya.

.....

PASAL 15  
PERUBAHAN TERHADAP KONVENSI

.....

1. Setiap pihak boleh mengusulkan perubahan atas Konvensi ini.
2. Perubahan-perubahan terhadap Konvensi ini akan diterima dalam suatu sesi biasa Konferensi Para Pihak. Teks dari setiap perubahan yang diusulkan atas Konvensi ini harus dikomunikasikan kepada Para Pihak oleh Seketariat sedikitnya 6 bulan sebelum pertemuan yang bertujuan untuk penerimaan. Seketariat juga akan mengkomunikasikan teks untuk setiap perubahan yang diusulkan kepada Para Pihak dan pihak penandatangan Konvensi, sebagai informasi kepada tempat penyimpanan.
3. Para Pihak wajib melakukan segala upaya untuk mencapai persetujuan untuk setiap perubahan Konvensi yang diusulkan melalui konsensus. Jika semua usaha pada konsensus telah habis, dan belum mencapai persetujuan, maka perubahan tersebut sebagai pilihan terakhir akan disetujui oleh mayoritas suara tiga perempat dari seluruh Para Pihak yang hadir dan memberikan suara pada pertemuan tersebut. Perubahan yang disetujui itu akan dikomunikasikan oleh Seketariat kepada tempat penyimpanan, yang akan mengedarkannya kepada semua Pihak untuk mendapatkan persetujuan mereka.
4. Instrumen penerimaan dalam hal perubahan akan disimpan pada tempat penyimpanan. Suatu perubahan yang diterima sesuai dengan ayat 3 di atas, akan berlaku bagi Para Pihak yang telah menerimanya pada hari ke sembilan puluh setelah tanggal penerimaan di tempat penyimpanan oleh suatu instrumen penerimaan oleh paling sedikit tiga perempat dari Para Pihak Konvensi ini.
5. Perubahan tersebut akan berlaku bagi Pihak lain pada hari ke sembilan puluh setelah tanggal waktu Pihak tersebut menyerahkan pada tempat penyimpanan instrumen penerimaan terhadap perubahan yang dimaksud.
6. Untuk tujuan Pasal ini, "Para Pihak hadir dan memberikan suara" berarti Para Pihak yang hadir dan memberikan suara setuju atau tidak.

.....

PASAL 16  
PENERIMAAN DAN PERUBAHAN LAMPIRAN PADA KONVENSI

.....

1. Lampiran pada Konvensi ini akan merupakan suatu bagian integral dari perjanjian ini, kecuali tidak ditentukan lain secara jelas, suatu rujukan atas Konvensi ini merupakan, pada waktu yang sama, suatu rujukan bagi setiap lampiran tersebut. Tanpa mengurangi ketentuan Pasal 14, ayat 2 (b) dan 7, lampiran tersebut akan dibatasi pada daftar, formulir dan bahan-bahan deskriptif lainnya yang bersifat ilmiah, teknis, prosedural atau administratif.
2. Lampiran-lampiran pada Konvensi akan diusulkan dan diterima sesuai dengan prosedur yang ditetapkan pada Pasal 15, ayat 2,3 dan 4.
3. Suatu lampiran yang telah diterima sesuai dengan ayat 2 di atas akan berlaku bagi semua Pihak dalam Konvensi ini 6 bulan setelah tanggal komunikasi yang dilakukan oleh Pemegang Simpanan, kepada Para Pihak tersebut tentang penerimaan lampiran atau penerima perubahan atas lampiran, kecuali bagi Para Pihak yang telah memberitahu kepada Pemegang Simpanan, secara tertulis dalam jangka tersebut ketidaksetujuan mereka akan lampiran atau perubahan atas lampiran tersebut. Lampiran akan berlaku bagi Para Pihak yang telah menarik kembali pemberitahuan ketidaksetujuan mereka pada hari ke sembilan puluh setelah tanggal penarikan pemberitahuan tersebut diterima oleh Pemegang Simpanan.
4. Usulan, penerimaan, dan masukan pada perubahan atas lampiran Konvensi ini akan berlaku prosedur yang sama untuk usulan, penerimaan dan masukan pada lampiran Konvensi yang sesuai dengan ayat 2 dan 3 di atas.
5. Apabila penerimaan suatu lampiran atau suatu perubahan atas suatu lampiran melibatkan suatu perubahan atas Konvensi ini, lampiran atau perubahan atas suatu lampiran tersebut tidak akan berlaku sampai perubahan pada Konvensi ini berlaku.

.....

PASAL 17  
PROTOKOL

.....

1. Konferensi Para Pihak, pada setiap sesi sidang biasa, mengadopsi protokol terhadap Konvensi.
2. Teks dari setiap protokol yang diusulkan harus dikomunikasikan kepada Para Pihak oleh Sekretariat setidaknya enam bulan sebelum sesi tersebut.
3. Persyaratan untuk berlakunya setiap protokol akan ditetapkan oleh instrumen tersebut.

4. Hanya Para Pihak Konvensi yang dapat menjadi Para Pihak suatu protokol.
5. Keputusan dalam setiap protokol harus diambil hanya oleh Para Pihak yang bersangkutan.

.....

PASAL 18  
HAK PILIH

.....

1. Setiap pihak Konvensi wajib memiliki satu hak suara, kecuali sebagaimana yang dicantumkan dalam ayat 2 di bawah.
  2. Organisasi-organisasi integrasi ekonomi regional, dalam hal yang sesuai kompetensi mereka, wajib menggunakan haknya untuk memberikan suara dengan jumlah suara yang sama dengan jumlah negara anggotanya yang merupakan Para Pihak dalam Protokol ini. Organisasi semacam itu dilarang menggunakan hak suaranya jika ada satu negara anggotanya yang menggunakan haknya dan sebaliknya.
- .
- .....

PASAL 19  
DEPOSITARI

.....

Sekretaris Jenderal Perserikatan Bangsa-Bangsa wajib menjadi Depositari dan juga protokol yang diterima sesuai dengan Pasal 17.

.....

PASAL 20  
PENANDATANGAN

.....

Konvensi ini harus terbuka untuk ditandatangani oleh Para Anggota Negara Perserikatan Bangsa-Bangsa atau badan-badan khususnya atau Para Pihak Statuta Mahkamah International dan oleh organisasi-organisasi integrasi ekonomi regional di Rio de Janeiro, selama Konferensi Perserikatan Bangsa-Bangsa Lingkungan Hidup dan Pengembangan,

dan setelahnya di Markas Perserikatan Bangsa-Bangsa di New York dari 20 Juni 1992 sampai 19 Juni 1993.

.....

PASAL 21  
PENGATURAN SEMENTARA

.....

1. Fungsi-fungsi sekretariat seperti yang disebut di dalam Pasal 8 akan dilakukan berbasis sementara oleh sekretariat yang dibuat oleh Konferensi Umum Perserikatan Bangsa-Bangsa dalam resolusi 45/212 pada 21 Desember 1990, sampai selesainya sesi pertama Konferensi Para Pihak.
2. Kepala Sekretariat sementara seperti yang disebut di dalam ayat 1 di atas, akan bekerja sama dengan Panel Antarpemerintah mengenai Perubahan Iklim untuk memastikan bahwa Panel dapat menanggapi kebutuhan akan tujuan pertimbangan ilmiah dan teknis. Badan-badan ilmiah lain yang relevan juga dapat berkonsultasi.
3. Fasilitas Lingkungan Global dari Program Pembangunan Perserikatan Bangsa-Bangsa, Program Lingkungan PBB, dan Bank Internasional untuk Rekonstruksi dan Pembangunan harus menjadi entitas internasional yang dipertanggungjawabkan dengan operasi mekanisme keuangan seperti disebut dalam Pasal 11 pada dasar sementara. Untuk tujuan ini, Fasilitas Lingkungan Global harus menjalani restrukturisasi dan keanggotaannya dibuat universal untuk memenuhi persyaratan Pasal 11.

.....

PASAL 22  
RATIFIKASI, PENERIMAAN, PERSETUJUAN ATAU AKSESI

.....

1. Konvensi tersebut harus tunduk pada ratifikasi, penerimaan, persetujuan atau akses oleh Negara-negara dan organisasi integrasi ekonomi regional. Ia harus terbuka untuk akses dari hari setelah tanggal Konvensi ini ditutup untuk penandatanganan. Instrumen ratifikasi, penerimaan, persetujuan atau akses harus disimpan dengan Pemegang Simpanan.
2. Setiap organisasi integrasi ekonomi regional yang menjadi Pihak pada Konvensi tanpa negara anggotanya menjadi Pihak terikat oleh semua kewajiban berdasarkan Konvensi. Dalam hal organisasi tersebut, satu atau lebih negara anggota yang menjadi Pihak pada Konvensi, organisasi dan negara anggotanya wajib menentukan tanggung jawab masing-masing untuk pelaksanaan kewajibannya berdasarkan Konvensi. Untuk kasus tersebut, organisasi dan negara anggotanya tidak berhak menjalankan hak mereka di bawah Konvensi secara bersamaan.

3. Pada instrumen ratifikasi, penerimaan, persetujuan atau akses, organisasi integrasi ekonomi regional harus mendeklarasikan tingkat kompetensinya dengan hal-hal di bawah kekuasaan Konvensi. Organisasi ini harus menginformasikan kepada Pemegang Simpanan, yang kemudian akan menginformasikan kepada Para Pihak, mengenai perubahan penting pada tingkat kompetensi mereka.

.....

PASAL 23  
MULAI BERLAKU

.....

1. Konvensi akan mulai berlaku pada hari ke sembilan puluh setelah tanggal deposit instrumen ratifikasi, penerimaan, persetujuan atau akses kelima puluh.
2. Bagi setiap negara atau organisasi integrasi ekonomi regional yang meratifikasi, menerima atau menyetujui Konvensi atau mengakses padanya setelah deposit instrumen ratifikasi, penerimaan, persetujuan atau akses kelima puluh, Konvensi harus mulai berlaku pada hari kesembilan puluh setelah tanggal deposit oleh Negara atau organisasi integrasi ekonomi regional akan instrumen ratifikasi, penerimaan, persetujuan atau ratifikasi.
3. Untuk tujuan ayat 1 dan 2 di atas, setiap instrumen yang disimpan oleh organisasi integrasi ekonomi regional tidak dapat dihitung sebagai tambahan yang disimpan oleh anggota negara organisasi tersebut.

.....

PASAL 24  
RESERVASI

.....

Tidak ada reservasi yang dapat dilakukan untuk Konvensi.

.....

PASAL 25  
PENARIKAN

.....

1. Pada setiap saat setelah 3 tahun dari tanggal mulai berlakunya Konvensi untuk suatu Pihak, Pihak tersebut dapat menarik diri dari Konvensi dengan memberikan pemberitahuan tertulis kepada Pemegang Simpanan.
2. Setiap penarikan diri tersebut akan berlaku pada saat berakhirnya satu tahun dari tanggal penerimaan oleh Pemegang Simpanan terhadap pemberitahuan penarikan diri, atau pada tanggal kemudian seperti yang dinyatakan dalam pemberitahuan penarikan diri.

3. Setiap Pihak yang menarik dari dari Konvensi juga dianggap telah menarik diri dari protokol.

.....

PASAL 26  
NASKAH ASLI

.....

1. Naskah asli dari Konvensi ini, yang dalam teks bahasa Arab, Cina, Inggris, Perancis, Rusia dan Spanyol sama otentiknya, wajib disimpan di Sekretaris Jenderal Perserikatan Bangsa-Bangsa.

SEBAGAI BUKTI penanda tangan, yang telah diberi kuasa untuk hal itu, telah membubuhkan tandatangannya pada Konvensi ini.

DIBUAT di New York pada sembilan Mei tahun seribu sembilan ratus sembilan puluh dua.

.....

NEGARA-NEGARA LAMPIRAN I DAN LAMPIRAN II

Lampiran I

Australia  
Austria  
Belarus\*  
Belgia  
Bulgaria\*  
Kanada  
Republik Ceko\*  
Denmark  
Masyarakat Eropa  
Estonia\*  
Finlandia  
Prancis  
Jerman  
Yunani  
Hongaria\*  
Islandia  
Irlandia  
Itali  
Jepang  
Latvia\*  
Lituania\*  
Luxembourg  
Belanda  
Selandia Baru  
Norwegia  
Polandi\*  
Portugal  
Romania\*  
Federasi Rusia\*  
Spanyol  
Swedia  
Switzerland  
Turki  
Ukraina\*  
Negeri Inggris dan Irlandia Utara  
Amerika Serikat

\*Negara-negara yang sedang mengalami proses transisi menuju ekonomi pasar.

## Lampiran II

Australia  
Austria  
Belgia  
Kanada  
Denmark  
Masyarakat Eropa  
Finlandia  
Prancis  
Jerman  
Yunani  
Islandia  
Irlandia  
Itali  
Jepang  
Luxembourg  
Belanda  
Selandia Baru  
Norwegia  
Portugal  
Spanyol  
Swedia  
Switzerland  
Turki  
Negeri Inggris dan Irlandia Utara  
Amerika Serikat

## **A2.2 Protokol Kyoto atas Konvensi Kerangka Kerja PBB tentang Perubahan Iklim**

Para Pihak pada Protokol ini,

Menjadi para Pihak pada Konvensi Kerangka Kerja Perserikatan Bangsa Bangsa tentang Perubahan Iklim, selanjutnya disebut "Konvensi",

Dalam pencapaian tujuan akhir dari Konvensi sebagaimana dinyatakan di dalam Pasal 2,

Mengingat ketentuan-ketentuan Konvensi,

Dengan di pedomani oleh pasal 3 Konvensi,

Sesuai Mandat Berlin yang diadopsi dalam keputusan I/CP.I dan Konferensi Para Pihak Konvensi dalam sidang pertamanya, telah menyetujui sebagai berikut:

### Pasal 1

Untuk keperluan Protokol ini, maka definisi yang terkandung dalam pasal 1 dari Konvensi wajib dilaksanakan. Sebagai tambahan:

1. "Konferensi Para Pihak" adalah Konferensi Para pihak pada Konvensi.
2. "Konvensi" adalah Konvensi Kerangka Kerja Perserikatan Bangsa Bangsa tentang Perubahan Iklim, diadopsi di New York pada 9 Mei 1992.
3. "Panel Antar Pemerintah tentang Perubahan Iklim" adalah Panel Antar Pemerintah tentang perubahan Iklim didirikan pada tahun 1988 bersama-sama dengan Organisasi Meteorologi Dunia dan Program Lingkungan Hidup Perserikatan Bangsa Bangsa.
4. "Protokol Montreal" adalah Protokol Montreal tentang Bahan-bahan yang Menipiskan Lapisan Ozon, diadopsi di Montreal pada 16 September 1987 dan yang kemudian disesuaikan serta

diubah.

5. "Para Pihak yang hadir dan memberi suara" adalah Para Pihak yang hadir dan memberikan suara yang positif atau negatif.

6. "Pihak" adalah jika tidak ditentukan lain dalam konteks, suatu pihak dalam Protokol ini.

7. "Pihak yang termasuk dalam Lampiran I" adalah suatu Pihak yang termasuk dalam Lampiran I Konvensi, sebagaimana diubah, atau suatu Pihak yang telah membuat suatu notifikasi berdasarkan Pasal 4 ayat 2(g) Konvensi.

## Pasal 2

1. Setiap Pihak yang termasuk dalam Lampiran I, dalam mencapai komitmen pembatasan dan pengurangan jumlah emisinya berdasarkan Pasal 3, dalam rangka mendorong pembangunan berkelanjutan, wajib:

(a) Melaksanakan dan/atau menjabarkan kebijakan dan tindakan yang sesuai dengan keadaan nasionalnya, seperti:

(i) Peningkatan efisiensi energi di sektor ekonomi nasional terkait;

(ii) Perlindungan dan peningkatan rotasi dan penyimpanan gas rumah kaca yang tidak diatur oleh Protokol Montreal, dengan mempertimbangkan komitmennya berdasarkan perjanjian lingkungan hidup internasional yang terkait; mendorong praktek pengelolaan hutan berkelanjutan, afforestasi dan reforestasi;

(iii) Mendorong pola pertanian berkelanjutan sesuai dengan pertimbangan perubahan iklim;

(iv) Penelitian mengenai, dan mendorong, pembangunan dan peningkatan pemanfaatan bentuk energi baru dan terbarukan, teknologi penyerapan pengurangan karbondioksida, dan penemuan teknologi baru yang ramah lingkungan;

(v) Pengurangan progresif atau penghapusan secara bertahap ketidaksempurnaan pasar, insentif fiskal, pembebasan pajak dan bea serta subsidi dalam semua sektor yang mengemisikan gas rumah kaca yang bertentangan dengan tujuan dari Konvensi dan penerapan instrumen pasar;

(vi) Dorongan pembaharuan yang sesuai dalam sektor terkait bertujuan untuk pengenalan kebijakan dan tindakan yang membatasi atau mengurangi emisi gas rumah kaca yang tidak diatur oleh Protokol Montreal;

(vii) Tindakan untuk membatasi dan atau menurunkan emisi gas rumah kaca yang tidak diatur dalam Protokol Montreal didalam sektor transportasi;

(viii) Pembatasan dan/atau penurunan emisi metana melalui pemulihan dan pemanfaatan dalam pengelolaan limbah, serta di dalam produksi, transportasi dan distribusi energi;

(b) Bekerjasama dengan Pihak lain tertentu untuk meningkatkan efektivitas kebijakan dan tindakan secara Individu dan gabungan yang diadopsi berdasarkan Pasal ini, sesuai Pasal 4, ayat 2(e)(i), dari Konvensi. Untuk tujuan ini, Para Pihak ini wajib mengambil langkah-langkah untuk berbagi pengalaman dan bertukar informasi mengenai kebijakan dan tindakan tertentu, termasuk mengembangkan cara peningkatan komparabilitas, transparansi dan efektivitasnya. Konferensi Para Pihak yang berfungsi sebagai Sidang Para Pihak pada Protokol ini wajib, pada sidangnya yang pertama atau sesegera mungkin setelah itu, mempertimbangkan cara-cara untuk memfasilitasi kerjasama tertentu, dengan mempertimbangkan semua informasi yang terkait.

2. Para pihak yang termasuk dalam Lampiran I wajib mencapai batas atau penurunan emisi gas rumah kaca yang berasal dari bahan bakar pesawat dan tempat penyimpanan bahan bakar di laut yang tidak diatur dalam Protokol Montreal, yang masing- masing diatur oleh Organisasi Penerbangan Sipil Internasional dan Organisasi Maritim Internasional.

3. Para Pihak yang termasuk dalam Lampiran I wajib berusaha untuk melaksanakan kebijakan dan tindakan berdasarkan Pasal ini sedemikian rupa untuk meminimalkan akibat yang merugikan, termasuk akibat yang merugikan dari perubahan iklim pengaruh pada perdagangan internasional, dampak sosial, ekonomi dan lingkungan terhadap Para pihak lainnya, khususnya Para Pihak negara berkembang dan terutama yang diidentifikasi dalam Pasal 4 ayat 8 dan 9, dari Konvensi, dengan mempertimbangkan Pasal 3 dari Konvensi ini. Konferensi Para Pihak yang berfungsi

sebagai Sidang Para Pihak Protokol ini dapat mengambil tindakan lebih lanjut, yang sesuai untuk mendorong pelaksanaan aturan-aturan ayat ini.

4. Konferensi Para Pihak yang berfungsi sebagai Sidang Para Pihak pada protokol ini, jika diputuskan bahwa hal tersebut akan bermanfaat bagi koordinasi setiap kebijakan dan tindakan yang dimaksud dalam ayat (1) huruf a di atas, dengan mempertimbangkan perbedaan kondisi nasional dan dampak potensial, wajib mempertimbangkan cara dan alat untuk mengembangkan koordinasi kebijakan dan tindakan dimaksud.

### Pasal 3

1. Para Pihak yang termasuk dalam Lampiran I wajib, secara individu atau bersama, menjamin bahwa gabungan karbon dioksida antropogenik setara emisi-emisi gas rumah kaca yang terdaftar dalam Lampiran A tidak melebihi jumlah yang ditetapkan, yang telah dihitung sesuai dengan komitmen pembatasan dan penurunan emisi yang telah ditetapkan sebagaimana yang tercantum dalam Lampiran B dan sesuai dengan ketentuan-ketentuan Pasal ini, dengan maksud untuk menurunkan emisi gas-gas tersebut secara keseluruhan hingga sekurang-kurangnya 5 persen dibawah tingkat tahun 1990 dalam periode komitmen 2008 sampai 2012.

2. Setiap Pihak yang termasuk dalam Lampiran I wajib, sampai tahun 2005, telah dapat menunjukkan kemajuan dalam mencapai komitmennya berdasarkan Protokol ini.

3. Perubahan netto emisi gas rumah kaca dari sumber dan penyerapan oleh rosot yang dihasilkan dari akibat langsung alih guna lahan dan hutan akibat kegiatan manusia, dibatasi pada afforestasi, reforestrasi dan deforestasi sejak tahun 1990, di ukur sebagai perubahan yang dapat diverifikasi dalam sediaan karbon pada setiap periode komitmen, wajib digunakan untuk memenuhi komitmen berdasarkan Pasal ini oleh setiap Pihak yang termasuk dalam Lampiran I. Emisi gas rumah kaca dari sumber dan penyerapan oleh rosot yang terkait dengan kegiatan tersebut wajib dilaporkan secara transparan dan dapat diverifikasi dan ditinjau menurut Pasal 7 dan 8.

4. Sebelum sidang pertama dari Konferensi Para Pihak yang berfungsi sebagai Sidang Para Pihak pada Protokol ini, setiap Pihak yang termasuk dalam Lampiran I wajib menyediakan data, sebagai

bahan pertimbangan bagi Badan Pendukung Pertimbangan Ilmiah dan Teknologi, untuk menetapkan tingkat sediaan karbon pada 1990 dan untuk memperkirakan perubahan sediaan karbon dalam tahun berikutnya. Konferensi Para Pihak yang berfungsi sebagai sidang Para pihak pada Protokol ini wajib, pada sesi pertamanya atau sesegera mungkin dapat dilaksanakan setelah itu menetapkan modalitas, aturan dan pedoman tentang tambahan kegiatan manusia yang bagaimana dan yang mana terkait dengan perubahan emisi gas rumah kaca dari sumber dan penyerapan oleh rosot dalam kategori tanah pertanian, dan perubahan alih guna lahan serta hutan wajib ditambahkan atau dikurangi dari, jumlah yang ditentukan untuk Para Pihak yang termasuk dalam Lampiran I, dengan mempertimbangkan ketidak pastian, transparansi dalam pelaporan, kemampuan memverifikasi, metodologi kerja dari Panel Antar Pemerintah mengenai Perubahan Iklim, pertimbangan yang diberikan oleh Badan Pendukung Pertimbangan Ilmiah dan Teknologi berdasarkan Pasal 5 dan keputusan dari Konferensi Para Pihak. Keputusan tersebut wajib diterapkan dalam periode kedua dan berikutnya. Suatu Pihak dapat memilih untuk menerapkan keputusan tersebut tentang tambahan kegiatan manusia ini untuk periode komitmen pertamanya, dengan ketentuan kegiatan tersebut telah dilaksanakan sejak tahun 1990.

5. Para Pihak yang termasuk dalam Lampiran I yang mengalami proses transisi kesuatu ekonomi pasar yang tahun atau periode dasarnya ditentukan sesuai keputusan 9/CP.2 Konferensi Para Pihak pada sesi keduanya wajib menggunakan tahun atau periode dasar tersebut untuk pelaksanaan komitmennya berdasarkan Pasal ini. Setiap Pihak lain yang termasuk dalam Lampiran I yang mengalami proses transisi ke suatu ekonomi pasar yang belum menyampaikan komunikasi nasional pertamanya berdasarkan Pasal 12 Konvensi, dapat pula memberitahu Konferensi Para Pihak yang berfungsi sebagai Sidang Para Pihak pada Protokol ini yang bermaksud untuk menggunakan suatu tahun atau periode dasar bersejarah selain 1990 untuk pelaksanaan komitmennya berdasarkan Pasal ini. Konferensi Para Pihak yang berfungsi sebagai Sidang Para Pihak pada Protokol ini wajib memberikan keputusan atas penerimaan notifikasi tersebut.

6. Dengan mempertimbangkan Pasal 4, ayat 6 Konvensi, dalam pelaksanaan komitmennya berdasarkan Protokol ini selain yang berdasarkan Pasal ini, suatu tingkat fleksibilitas tertentu wajib diizinkan oleh Konferensi Para Pihak yang berfungsi sebagai Sidang Para Pihak pada Protokol ini kepada Para Pihak yang termasuk dalam Lampiran I yang mengalami proses transisi ke suatu ekonomi pasar.

7. Dalam periode komitmen pertama pembatasan dan penurunan jumlah emisi, dari 2008 sampai dengan 2012, jumlah yang ditentukan untuk setiap Pihak, yang termasuk dalam Lampiran I wajib disamakan dengan persentase yang tertera untuknya dalam Lampiran B dari gabungan karbon dioksida Anthropogenik setara dengan emisi dari gas rumah kaca seperti yang terdaftar dalam Lampiran A pada 1990, atau tahun atau periode dasar yang ditetapkan sesuai dengan ayat 5 diatas, dikalikan lima. Para Pihak yang termasuk dalam Lampiran I yang alih guna lahan dan hutannya merupakan suatu sumber neto emisi gas rumah kaca pada 1990 wajib memasukkan di dalam tahun atau periode dasar emisi 1990-nya gabungan karbon dioksida, Anthropogenik yang setara emisi dari sumber penyerapan minus oleh rosot di tahun 1990 dari alih guna lahan untuk tujuan penghitungan jumlah yang ditetapkan bagi mereka.

8. Pihak manapun yang termasuk dalam Lampiran I dapat menggunakan 1995 sebagai tahun dasarnya untuk hydrofluorocarbons, perfluorocarbons, dan sulphur hexafluoride, untuk tujuan penghitungan sebagaimana yang dimaksud dalam ayat 7 di atas.

9. Komitmen untuk periode berikutnya untuk Para Pihak yang termasuk dalam Lampiran I akan ditetapkan dalam perubahan Lampiran B Protokol ini, yang harus diadopsi sesuai dengan ketentuan Pasal 21 ayat 7. Konferensi Para Pihak yang berfungsi sebagai Sidang Para Pihak Protokol ini wajib mengajukan pertimbangan komitmen tersebut sekurang-kurangnya tujuh tahun sebelum akhir periode komitmen pertama sebagaimana yang dimaksud dalam ayat 1 di atas.

10. Setiap unit penurunan emisi, atau setiap bagian dari jumlah yang ditetapkan, yang diperoleh satu Pihak dari Pihak lain menurut ketentuan Pasal 6 atau Pasal 17 wajib ditambahkan pada jumlah yang ditetapkan untuk Pihak pemeroleh.

11. Setiap unit penurunan emisi, atau setiap bagian dari suatu jumlah yang ditetapkan, yang dialihkan oleh satu Pihak ke Pihak lain menurut ketentuan Pasal 6 atau Pasal 17 wajib dikurangi dari jumlah yang ditetapkan untuk Pihak pengalih.

12. Setiap penurunan emisi bersertifikat yang diperoleh satu Pihak dari Pihak lain menurut ketentuan Pasal 12 wajib ditambahkan pada jumlah yang ditetapkan untuk Pihak pemeroleh.

13. Jika emisi dari satu Pihak yang termasuk dalam Lampiran I dalam suatu periode komitmen kurang dari jumlah yang ditetapkan berdasarkan Pasal ini, perbedaan ini wajib, atas permintaan

Pihak tersebut, ditambahkan pada jumlah yang ditetapkan bagi Pihak tersebut untuk periode komitmen berikutnya.

14. Setiap Pihak yang termasuk dalam Lampiran I wajib berupaya melaksanakan komitmen sebagaimana yang dimaksud dalam ayat 1 di atas agar meminimalkan dampak sosial, lingkungan dan ekonomi yang merugikan Para Pihak negara berkembang, khususnya negara yang diidentifikasi dalam pasal 4, ayat 8 dan 9 dari Konvensi. Sejalan dengan keputusan yang relevan dari Konferensi Para Pihak tentang pelaksanaan ayat tersebut, Konferensi Para Pihak yang berfungsi sebagai Sidang Para Pihak pada Protokol ini wajib dalam sesi pertamanya mempertimbangkan tindakan apa yang diperlukan untuk meminimalkan akibat yang merugikan dari perubahan iklim dan/atau dampak dari tindakan responsif terhadap para Pihak yang dimaksud dalam ayat tersebut. Di antara isu-isu, yang dipertimbangkan wajib ada penetapan pendanaan, asuransi, dan alih teknologi.

#### Pasal 4

1. Setiap Pihak yang termasuk dalam Lampiran I yang telah mencapai suatu persetujuan untuk memenuhi komitmennya berdasarkan Pasal 3 secara bersama, wajib dipandang telah memenuhi komitmen tersebut dengan ketentuan bahwa jumlah gabungan, karbon dioksida antropogenik setara emisi-emisi gas rumah kaca yang tercantum dalam Lampiran A tidak melebihi jumlah yang ditetapkan bagi mereka yang dihitung menurut komitmen pembatasan dan penurunan jumlah emisinya yang tertera dalam Lampiran B dan menurut ketentuan Pasal 3. Tingkat emisi masing-masing yang dialokasikan untuk setiap Pihak perjanjian wajib ditetapkan dalam perjanjian itu.

2. Para Pihak dalam setiap perjanjian tersebut wajib memberitahu sekretariat tentang syarat-syarat perjanjian tersebut pada tanggal penyimpanan piagam pengesahan, penerimaan atau penyetujuan Protokol ini, atau aksesi. Pada gilirannya, sekretariat wajib memberitahu Para Pihak dan para penandatangan Konvensi tentang syarat-syarat perjanjian tersebut.

3. Setiap perjanjian tersebut wajib tetap berlaku selama periode komitmen yang ditentukan dalam Pasal 3 ayat 7.

4. Apabila Para Pihak yang bertindak secara bersama melakukan hal tersebut dalam kerangka kerja dan bersama-sama dengan, suatu organisasi integrasi ekonomi regional, setiap perubahan dalam komposisi organisasi setelah adopsi Protokol ini tidak boleh mempengaruhi komitmen berdasarkan Protokol ini. Setiap perubahan dalam komposisi organisasi wajib berlaku hanya untuk tujuan komitmen tersebut berdasarkan Pasal 3 yang telah diadopsi menyusul perubahan tersebut.

5. Dalam hal terjadinya kegagalan oleh para Pihak atas suatu perjanjian untuk mencapai tingkat jumlah gabungan penurunan emisi, setiap Pihak atas perjanjian itu wajib bertanggungjawab atas tingkat emisinya sendiri, yang dinyatakan dalam perjanjian.

6. Apabila Para Pihak yang bertindak secara bersama untuk melakukan hal tersebut dalam kerangka kerja, dan bersama-sama dengan, suatu organisasi integrasi ekonomi regional, yang merupakan satu Pihak dari Protokol ini, setiap Negara anggota dari organisasi integrasi ekonomi regional tersebut secara individu dan bersama-sama dengan organisasi integrasi ekonomi tingkat regional yang bertindak menurut Pasal 24, wajib, dalam hal terjadinya kegagalan untuk mencapai tingkat jumlah gabungan dari penurunan emisi, bertanggungjawab atas tingkat emisinya sebagaimana yang diberitahukan menurut Pasal ini.

#### Pasal 5

1. Setiap Pihak yang termasuk dalam Lampiran I wajib memiliki, tidak lebih dari satu tahun sebelum dimulainya periode komitmen pertama, suatu sistem nasional untuk memperkirakan emisi antropogenik oleh sumber dan penyerapan oleh rosot dari semua gas rumah kaca, yang tidak diatur oleh Protokol Montreal. Pedoman untuk sistem nasional tersebut, yang wajib memasukkan metodologi seperti yang ditentukan dalam ayat 2 di bawah, wajib diputuskan oleh Konferensi para Pihak yang berfungsi sebagai Sidang Para Pihak Protokol ini dalam sesi pertamanya.

2. Metodologi untuk memperkirakan emisi antropogenik oleh sumber dan penyerapan oleh rosot dari semua gas rumah kaca yang tidak diatur oleh Protokol Montreal wajib merupakan metodologi yang diterima oleh Panel Antar Pemerintah tentang Perubahan Iklim dan disetujui

oleh Konferensi Para Pihak pada sesi ketiganya. Jika metodologi tersebut tidak digunakan, penyesuaian yang tepat wajib diterapkan menurut metodologi yang disetujui oleh Konferensi Para Pihak yang berfungsi sebagai Sidang Para Pihak pada Protokol ini pada sesi, pertaniannya, Berdasarkan pekerjaan dari, antara lain, Panel Antar Pemerintah tentang Perubahan Iklim dan saran yang diberikan oleh Badan Pendukung untuk Pertimbangan Ilmiah dan Teknologi, Konferensi Para Pihak yang berfungsi sebagai Sidang Para Pihak pada Protokol ini wajib, secara teratur meninjau kembali dan, apabila perlu, mengubah metodologi dan penyesuaian tersebut, dengan mempertimbangkan sepenuhnya keputusan Konferensi Para Pihak yang relevan. Setiap perubahan terhadap metodologi atau penyesuaian tersebut wajib hanya digunakan untuk tujuan kepastian penataan terhadap komitmen berdasarkan Pasal 3 berkenaan dengan setiap periode komitmen yang diadopsi menyusul perubahan tersebut.

3. Potensi pemanasan global yang digunakan untuk menghitung kesetaraan karbon dioksida dari emisi antropogenik oleh sumber dan penyerapan oleh rosot dari gas rumah kaca yang tertara dalam Lampiran A wajib menjadi potensi pemanasan global yang diterima oleh Panel Antar Pemerintah tentang Perubahan Iklim dan disetujui oleh Konferensi Para Pihak pada sesi ketiganya. Berdasarkan pekerjaan antara lain, Panel Antar Pemerintah tentang Perubahan Iklim dan saran yang diberikan oleh Badan Pendukung untuk Pertimbangan ilmiah dan Teknologi Konferensi Para Pihak yang berfungsi sebagai Sidang Para Pihak pada Protokol ini wajib secara berkala meninjau kembali dan bila perlu mengubah potensi pemanasan global dari setiap gas rumah kaca tersebut dengan mempertimbangkan sepenuhnya setiap keputusan Konferensi Para Pihak yang relevan. Setiap perubahan terhadap potensi pemanasan global wajib berlaku hanya terhadap komitmen berdasarkan Pasal 3, berkenaan dengan setiap periode komitmen yang diadopsi menyusul perubahan tersebut.

## Pasal 6

1. Untuk tujuan pemenuhan komitmen berdasarkan Pasal 3, setiap Pihak yang termasuk dalam Lampiran I dapat mengalihkan kepada, atau memperoleh dari, setiap Pihak yang lain unit penurunan emisi yang berasal dari proyek yang bertujuan menurunkan emisi antropogenik oleh sumber atau meningkatkan penyerapan oleh rosot, gas rumah kaca di setiap sektor ekonomi, dengan ketentuan berikut:

- (a) Setiap proyek mempunyai persetujuan dari para Pihak yang terlibat.
  - (b) Setiap proyek tersebut memberikan suatu penurunan emisi dari sumber, atau suatu peningkatan penyerapan oleh rosot, yang merupakan tambahan terhadap proyek yang mungkin terlaksana dengan cara lain.
  - (c) Proyek tersebut tidak mendapatkan unit penurunan emisi apabila tidak menaati kewajibannya berdasarkan Pasal 5 dan 7, dan
  - (d) Perolehan unit penurunan emisi wajib bersifat melengkapi terhadap tindakan domestik untuk memenuhi komitmen berdasarkan Pasal 3.
2. Konferensi Para Pihak yang berfungsi sebagai sidang Para Pihak pada Protokol ini dapat, pada sesi yang pertamanya atau sesegera mungkin, lebih menjabarkan pedoman untuk pelaksanaan Pasal ini, termasuk untuk verifikasi dan pelaporan.
3. Suatu Pihak yang termasuk dalam Lampiran I dapat memberikan wewenang kepada badan hukum untuk berpartisipasi, berdasarkan tanggungjawabnya, untuk bertindak yang mengarah pada penghasilan pengalihan atau perolehan unit-unit penurunan emisi berdasarkan Pasal ini.
4. Apabila suatu masalah pelaksanaan dari suatu Pihak yang termasuk dalam Lampiran I dari persyaratan yang dimaksud dalam Pasal ini diidentifikasi menurut ketentuan Pasal 8 yang relevan, pengalihan dan perolehan unit penurunan emisi dapat tetap dilaksanakan setelah masalah tersebut diidentifikasi, dengan ketentuan bahwa unit tersebut tidak digunakan oleh suatu Pihak untuk memenuhi komitmennya berdasarkan Pasal 3 sampai isu penaaatan tersebut diselesaikan.

#### Pasal 7

1. Setiap pihak yang termasuk dalam Lampiran I wajib memasukkan dalam inventarisasi tahunannya emisi antropogenik dari sumber dan penyerapan oleh rosot dari gas rumah kaca yang tidak diatur, oleh Protokol Montreal, yang disampaikan sesuai dengan keputusan Konferensi Para Pihak yang relevan, informasi pelengkap yang diperlukan untuk menjamin penaaatan Pasal 3, yang

ditentukan menurut ayat 4 di bawah.

2. Setiap Pihak yang termasuk dalam Lampiran I wajib memasukkan dalam komunikasi nasionalnya, yang disampaikan berdasarkan Pasal 12 Konvensi, informasi pelengkap yang diperlukan untuk menunjukkan penataan terhadap komitmennya berdasarkan Protokol ini, yang ditentukan menurut ayat 4 di bawah.

3. Setiap Pihak yang termasuk dalam Lampiran I wajib menyampaikan informasi yang dipersyaratkan setiap tahunnya berdasarkan ayat 1 di atas, yang dimulai dengan inventarisasi pertama berdasarkan Konvensi untuk tahun pertama periode komitmen setelah Protokol ini berlaku bagi Pihak tersebut. Setiap Pihak tersebut wajib menyampaikan informasi yang dipersyaratkan berdasarkan ayat 2 di atas sebagai bagian dari komunikasi nasional pertamanya berdasarkan Konvensi setelah Protokol ini berlaku bagi Pihak tersebut dan setelah adopsi pedoman sebagaimana yang disediakan untuk ayat 4 di bawah. Frekuensi penyampaian berikutnya mengenai informasi yang dipersyaratkan berdasarkan Pasal ini wajib ditetapkan oleh Konferensi Para Pihak yang berfungsi sebagai Sidang Para Pihak pada Protokol ini, dengan mempertimbangkan jadwal penyampaian, komunikasi nasional yang diputuskan oleh Konferensi Para Pihak.

4. Konferensi Para Pihak yang berfungsi sebagai Sidang Para Pihak pada Protokol ini wajib mengadopsi dalam sesi pertamanya, dan setelah itu meninjau secara periodik, pedoman-pedoman untuk persiapan informasi yang dipersyaratkan berdasarkan Pasal ini, dengan mempertimbangkan pedoman untuk persiapan komunikasi nasional oleh Para Pihak yang termasuk dalam Lampiran I yang diadopsi oleh Konferensi Para Pihak. Konferensi Para Pihak yang berfungsi sebagai Sidang Para Pihak pada Protokol ini wajib pula, sebelum periode komitmen pertama, memutuskan modalitas untuk pembukuan jumlah yang ditentukan.

## Pasal 8

1. Informasi yang disampaikan berdasarkan Pasal 7 oleh setiap Pihak yang termasuk dalam Lampiran I wajib ditinjau kembali oleh tim ahli peninjau menurut keputusan relevan dari Konferensi Para Pihak dan sesuai dengan pedoman yang diadopsi untuk keperluan ini oleh

Konferensi Para Pihak yang berfungsi sebagai Sidang Para Pihak pada Protokol ini berdasarkan ayat 4 di bawah. Informasi yang disampaikan berdasarkan Pasal 7 ayat 1 oleh setiap Pihak yang termasuk dalam Lampiran I wajib ditinjau kembali sebagai bagian dari kompilasi dan pembukuan tahunan inventarisasi emisi dan jumlah yang ditentukan. Selain itu, informasi yang disampaikan berdasarkan Pasal 7 ayat 2 oleh setiap Pihak yang termasuk dalam Lampiran I wajib ditinjau kembali sebagai bagian dari tinjauan komunikasi.

2. Tim ahli peninjau wajib dikoordinasikan oleh sekretariat dan wajib terdiri atas ahli-ahli yang dipilih dari mereka yang dicalonkan oleh Para Pihak pada, Konvensi dan bila perlu oleh organisasi antar pemerintah, sesuai dengan pedoman yang disediakan untuk tujuan ini oleh Konferensi Para Pihak.

3. Proses peninjauan wajib menyediakan pengkajian teknis yang mendalam dan komprehensif semua aspek pelaksanaan yang dilakukan oleh suatu Pihak pada Protokol ini. Tim ahli peninjau tersebut wajib menyiapkan suatu laporan kepada Konferensi Para Pihak yang berfungsi sebagai Sidang Para Pihak Protokol ini, dengan menilai pelaksanaan komitmen Pihak tersebut dan mengidentifikasi setiap masalah yang potensial, dan faktor-faktor yang mempengaruhi, pemenuhan komitmen. Laporan tersebut wajib diedarkan oleh Sekretariat kepada semua Pihak Konvensi Sekretariat wajib mendaftarkan masalah pelaksanaan yang diindikasikan dalam laporan tersebut untuk pertimbangan lebih lanjut oleh Konferensi Para Pihak yang berfungsi sebagai Sidang Para Pihak pada Protokol ini.

4. Konferensi Para Pihak yang berfungsi sebagai sidang para Pihak pada Protokol ini wajib mengadopsi dalam sesi pertamanya, dan selanjutnya meninjau secara berkala, pedoman-pedoman untuk peninjauan pelaksanaan Protokol ini oleh tim ahli peninjau dengan mempertimbangkan keputusan-keputusan yang relevan dari Konferensi Para Pihak.

5. Konferensi Para Pihak yang berfungsi sebagai Sidang Para Pihak pada Protokol ini wajib, dengan bantuan Badan Pendukung untuk Pelaksanaan dan, bila perlu, Badan Pendukung untuk Pertimbangan Ilmiah dan Teknologi, mempertimbangkan berikut :

(a) Informasi yang disampaikan oleh para Pihak berdasarkan Pasal 7 dan laporan tinjauan dari para ahli yang dilakukan berdasarkan Pasal ini.

(b) Masalah-masalah pelaksanaan yang didaftar oleh sekretariat berdasarkan ayat 3 di atas, serta setiap masalah yang dikemukakan oleh Para Pihak.

6. Menurut pertimbangannya mengenai informasi berdasarkan ayat 5 diatas, Konferensi para Pihak yang berfungsi sebagai Sidang Para Pihak pada Protokol ini wajib mengambil keputusan mengenai setiap hal yang disyaratkan untuk pelaksanaan Protokol ini.

#### Pasal 9

1. Konferensi Para Pihak yang berfungsi sebagai Sidang Para Pihak pada Protokol ini wajib secara berkala meninjau Protokol ini berdasarkan pada informasi ilmiah dan penilaian yang tersedia dan terbaik tentang perubahan iklim dan dampaknya, serta informasi teknik, sosial, dan ekonomi yang relevan. Tinjauan tersebut wajib dikoordinasikan dengan tinjauan yang tepat berdasarkan Konvensi, khususnya yang disyaratkan dalam Pasal 4 ayat 2 huruf (d) dan Pasal 7 ayat 2 huruf (a) Konvensi, Berdasarkan tinjauan ini, Konferensi para Pihak yang berfungsi sebagai Sidang para Pihak pada Protokol ini wajib mengambil tindakan yang diperlukan.

2. Tinjauan pertama wajib dilakukan pada sesi kedua Konferensi para Pihak yang berfungsi sebagai Sidang Para Pihak pada Protokol ini. Tinjauan berikut wajib dilakukan secara teratur dan dalam jangka waktu yang tepat.

#### Pasal 10

Semua Pihak, dengan mempertimbangkan tanggung jawab bersama tetapi berbeda dan prioritas pembangunan nasional dan regional yang spesifik, tujuan dan keadaan, tanpa mengenalkan setiap komitmen baru untuk para Pihak yang tidak termasuk dalam Lampiran I, tetapi menegaskan kembali komitmen yang ada berdasarkan Pasal 4 ayat 1 Konvensi, dan meneruskan peningkatan pelaksanaan komitmen tersebut untuk mencapai pembangunan berkelanjutan, dengan mempertimbangkan Pasal 4 ayat 3, 5, dan 7 Konvensi, wajib:

(a) Merumuskan, apabila relevan dan mungkin, program nasional yang berbiaya efektif dan, bila

perlu, program regional untuk memperbaiki mutu dari faktor emisi lokal, data kegiatan dan/atau model yang mencerminkan kondisi sosial ekonomi dari setiap Pihak untuk persiapan dan perbaruan secara berkala inventarisasi nasional emisi antropogenik dari sumber dan penyerapan oleh rosot semua gas rumah kaca yang tidak diatur oleh Protokol Montreal, dengan menggunakan metodologi yang dapat diperbandingkan untuk disetujui oleh Konferensi para Pihak, dan konsisten dengan pedoman persiapan komunikasi nasional yang diadopsi oleh Konferensi Para Pihak;

(b) Merumuskan, melaksanakan, menerbitkan, dan membarukan secara teratur program nasional dan bila perlu, program regional yang berisi tindakan mitigasi perubahan iklim dan tindakan yang memfasilitasi adaptasi yang memadai terhadap perubahan iklim:

(i) Program tersebut akan, antara lain, berkenaan dengan sektor energi, perhubungan, dan industri serta pertanian, kehutanan, dan pengelolaan limbah. Selanjutnya teknologi dan metode adaptasi untuk memperbaiki rencana tata ruang akan memperbaiki adaptasi terhadap perubahan iklim;

(ii) Para Pihak yang termasuk dalam Lampiran I wajib menyampaikan informasi mengenai tindakan berdasarkan Protokol ini, termasuk program nasional, menurut ketentuan Pasal 7; dan Pihak- pihak lain wajib berusaha memasukkan dalam komunikasi nasionalnya, bila perlu, informasi mengenai program yang berisi tindakan yang diyakini pihak tersebut berkontribusi dalam mengatasi perubahan iklim dan dampak negatifnya, termasuk penanggulangan kenaikan emisi gas rumah kaca, dan peningkatan dari dan penyerapan oleh rosot, peningkatan kapasitas dan tindakan adaptasi;

(c) Bekerjasama dalam peningkatan modalitas yang efektif untuk pembangunan, penerapan dan penyebarluasan, dan mengambil semua langkah praktis untuk meningkatkan, memfasilitasi dan membiayai, bila perlu, pengalihan atau akses teknologi ramah lingkungan, pengetahuan, praktek dan proses yang tepat terhadap perubahan iklim, khususnya negara berkembang, termasuk perumusan kebijakan dan program alih teknologi ramah lingkungan yang efektif yang dimiliki oleh masyarakat atau yang ada dalam wilayah umum dan penciptaan suatu keadaan yang memungkinkan bagi sektor swasta untuk memajukan dan meningkatkan pengalihan dan akses ke teknologi ramah lingkungan;

(d) Bekerjasama dalam riset ilmiah dan teknik dan memajukan pemeliharaan dan pengembangan

sistem pengamatan yang sistematis dan pengembangan arsip data untuk mengurangi ketidakpastian terkait dengan sistem iklim, dampak negatif perubahan iklim dan konsekuensi ekonomi dan sosial dari berbagai strategi tanggapan dan memajukan pengembangan dan penguatan kapasitas dan kapabilitas lokal untuk ikut serta dalam upaya internasional dan antar pemerintah, program, dan jejaring riset dan pengamatan yang sistematis, dengan mempertimbangkan Pasal 5 Konvensi;

(e) Bekerjasama dalam dan memajukan pada tingkat internasional, dan, bila tepat, dengan memanfaatkan badan-badan yang ada, pengembangan dan pelaksanaan program pendidikan dan pelatihan, termasuk memperkuat peningkatan kapasitas nasional, khususnya kapasitas sumber daya manusia dan kelembagaan dan pertukaran atau dukungan personil untuk melatih para ahli dalam bidang ini, khususnya untuk negara berkembang, dan memfasilitasi pada tingkat nasional, kesadaran masyarakat tentang, dan akses masyarakat terhadap informasi mengenai perubahan iklim. Modalitas yang sesuai seharusnya dikembangkan untuk melaksanakan kegiatan ini melalui badan-badan Konvensi yang relevan dengan mempertimbangkan Pasal 6 Konvensi;

(f) Memasukkan dalam komunikasi nasional mereka, informasi tentang program dan kegiatan yang dilaksanakan menurut ketentuan Pasal ini, sesuai dengan keputusan yang relevan dari Konferensi Para Pihak;

(g) Memberikan pertimbangan penuh dalam melaksanakan komitmen berdasarkan Pasal ini sampai Pasal 4 ayat 8 Konvensi.

## Pasal 11

1. Dalam pelaksanaan Pasal 10, para Pihak wajib mempertimbangkan ketentuan-ketentuan Pasal 4 ayat 4, 5, 7, 8, dan 9 Konvensi.

2. Dalam konteks pelaksanaan Pasal 4 ayat 1 Konvensi, menurut ketentuan Pasal 4 ayat 3 dan Pasal 11 Konvensi, dan melalui badan atau badan-badan yang dipercayakan dengan penyelenggaraan mekanisme keuangan Konvensi, para Pihak negara maju dan para Pihak negara maju lainnya, yang termasuk dalam Lampiran II Konvensi wajib :

(a) Menyediakan sumber keuangan baru dan tambahan untuk mencapai biaya penuh yang disetujui dan diperuntukkan bagi para Pihak negara berkembang dalam memajukan pelaksanaan komitmen yang ada dalam Pasal 4 ayat 1 Konvensi yang dicakup dalam Pasal 10 huruf (a);

(b) Menyediakan pula sumber keuangan tersebut, termasuk alih teknologi yang diperlukan oleh para Pihak negara berkembang untuk memenuhi biaya tambahan seluruhnya yang disetujui untuk peningkatan pelaksanaan komitmen yang ada berdasarkan Pasal 4 ayat 1 Konvensi, yang dicakup dalam Pasal 10, dan yang disetujui antara suatu pihak negara berkembang dengan badan atau badan-badan internasional sebagaimana dimaksud dalam Pasal 11 Konvensi, menurut ketentuan Pasal itu.

Pelaksanaan komitmen yang ada ini wajib mempertimbangkan kebutuhan akan kepastian dan kemampuan memperkirakan arus dana dan pentingnya berbagi beban yang tepat di antara para Pihak negara berkembang. Pedoman kepada badan atau badan-badan yang dipercayakan untuk menyelenggarakan mekanisme keuangan Konvensi dalam keputusan Konferensi para Pihak, yang relevan, termasuk yang disetujui sebelum pengadopsian Protokol ini, wajib berlaku mutatis mutandis terhadap ketentuan ayat ini.

3. Pihak negara maju dan para Pihak negara maju lain dalam Lampiran II Konvensi dapat pula menyediakan dan para Pihak negara berkembang menyediakan sendiri sumber-sumber keuangan untuk pelaksanaan Pasal 10 melalui jalur bilateral, regional, dan multilateral lainnya.

## Pasal 12

1. Suatu mekanisme pembangunan bersih dengan ini didefinisikan.

2. Tujuan dari mekanisme pembangunan bersih adalah untuk membantu para Pihak yang tidak termasuk dalam Lampiran I dalam mencapai pembangunan berkelanjutan dan berkontribusi untuk mencapai tujuan akhir Konvensi, dan untuk membantu para Pihak yang termasuk dalam Lampiran I dalam mencapai penataan komitmen pembatasan dan penurunan jumlah emisi berdasarkan Pasal 3.

3. Berdasarkan mekanisme pembangunan bersih:

(a) Para Pihak yang tidak termasuk dalam Lampiran I akan mendapat keuntungan dari kegiatan proyek yang menghasilkan penurunan emisi bersertifikat;

(b) Para Pihak yang termasuk dalam Lampiran I dapat menggunakan penurunan emisi bersertifikat yang dikumpulkan dari kegiatan proyek tersebut untuk kontribusi terhadap penaatan bagian komitmen pembatasan dan penurunan jumlah emisi berdasarkan Pasal 3, sebagaimana yang ditetapkan dalam Konferensi Para Pihak yang berfungsi sebagai Sidang Para Pihak pada Protokol ini.

4. Mekanisme pembangunan bersih wajib menjadi subjek kewenangan dan pedoman Konferensi Para Pihak yang berfungsi sebagai Sidang Para Pihak pada Protokol ini dan diawasi oleh suatu badan eksekutif mekanisme pembangunan bersih.

5. Penurunan emisi yang merupakan hasil dari setiap kegiatan proyek wajib disertifikasi oleh badan operasional yang ditunjuk oleh Konferensi Para Pihak yang berfungsi sebagai Sidang Para Pihak pada Protokol ini, berdasarkan:

(a) Partisipasi sukarela yang disetujui oleh setiap Pihak yang terlibat;

(b) Nyata, terukur, dan keuntungan dalam jangka panjang yang terkait dengan mitigasi perubahan iklim;

(c) Penurunan emisi yang merupakan tambahan untuk setiap penurunan yang dapat terjadi dalam ketiadaan kegiatan proyek yang disertifikasi.

6. Mekanisme pembangunan bersih wajib membantu dalam mengatur pendanaan kegiatan proyek yang, bersertifikat bila perlu.

7. Konferensi Para Pihak yang berfungsi sebagai Sidang Para Pihak pada Protokol ini wajib dalam sesi pertamanya, menjabarkan modalitas dan prosedur yang bertujuan menjamin transparansi, efisiensi dan akuntabilitas melalui proses audit yang independen dan verifikasi kegiatan proyek.

8. Konferensi Para Pihak yang berfungsi sebagai Sidang Para Pihak dalam Protokol ini wajib menjamin bahwa suatu bagian pendapatan dari kegiatan proyek bersertifikat digunakan untuk menutup biaya administratif serta untuk membantu para Pihak negara berkembang terutama yang sangat rentan terhadap pengaruh yang merugikan dari perubahan iklim untuk memenuhi biaya adaptasi.

9. Partisipasi di dalam mekanisme pembangunan bersih, termasuk kegiatan yang disebut dalam ayat 3 huruf (a) diatas dan dalam perolehan penurunan emisi bersertifikat, dapat melibatkan badan-badan swasta dan/atau pemerintah dan akan tunduk pada pedoman apapun yang mungkin diberikan oleh badan eksekutif mekanisme pembangunan bersih.

10. Penurunan emisi bersertifikat yang diperoleh selama periode mulai dari tahun 2000 sampai dengan permulaan masa komitmen pertama dapat digunakan untuk membantu mencapai penataan dalam periode komitmen pertama.

### Pasal 13

1. Konferensi Para Pihak, badan tertinggi Konvensi, akan berfungsi sebagai Sidang Para Pihak pada Protokol ini.

2. Para Pihak Konvensi yang bukan para Pihak pada Protokol ini dapat berpartisipasi sebagai pengamat dalam setiap acara Konferensi Para Pihak yang berfungsi sebagai Sidang Para Pihak pada Protokol ini. Apabila Konferensi Para Pihak berfungsi sebagai sidang para Pihak pada Protokol ini, keputusan berdasarkan Protokol ini wajib diambil hanya oleh mereka yang merupakan para Pihak pada Protokol ini.

3. Apabila Konferensi Para Pihak berfungsi sebagai Sidang Para Pihak pada Protokol ini, setiap anggota Biro Konferensi Para Pihak yang mewakili suatu Pihak pada Konvensi, pada waktu itu, bukan merupakan Pihak dalam Protokol ini, wajib diganti oleh anggota tambahan yang dipilih oleh dan dari antara para Pihak dalam Protokol ini.

4. Konferensi Para Pihak yang berfungsi sebagai Sidang Para Pihak pada Protokol ini wajib

menjaga melalui upaya peninjauan yang teratur pelaksanaan Protokol ini dan wajib mengambil, dalam batas mandatnya, keputusan yang perlu untuk meningkatkan pelaksanaannya secara efektif. Konferensi Para Pihak wajib melaksanakan fungsinya yang ditentukan dalam Protokol dan wajib:

(a) Mengkaji, berdasarkan semua informasi yang disediakan menurut ketentuan Protokol ini, pelaksanaan Protokol ini oleh para Pihak, pengaruh keseluruhan dari tindakan yang diambil menurut Protokol ini, khususnya pengaruh lingkungan, ekonomi dan sosial serta dampak kumulatif dan tingkat pencapaian kemajuan terhadap tujuan Konvensi;

(b) Secara berkala memeriksa kewajiban para Pihak dalam Protokol ini dengan memberikan pertimbangan yang wajar terhadap setiap tinjauan yang disyaratkan berdasarkan Pasal 4 ayat 2 huruf (d) dan Pasal 7 ayat 2 Konvensi, berdasarkan tujuan Konvensi, pengalaman yang diperoleh dalam pelaksanaan dan evolusi pengetahuan ilmiah dan teknologi dan dalam hal ini mempertimbangkan dan menerima laporan berkala pelaksanaan Protokol ini.

(c) Mempromosikan dan memfasilitasi pertukaran informasi tindakan yang diterima oleh Para Pihak untuk mengatasi perubahan iklim dan pengaruhnya, dengan memperhatikan kondisi, tanggung jawab dan kemampuan yang berbeda dari para Pihak dan komitmen terkait mereka menurut Protokol ini.

(d) Memfasilitasi, atas permintaan dua Pihak atau lebih, koordinasi tindakan yang mereka terima untuk mengantisipasi perubahan iklim dan pengaruhnya dengan memperhatikan kondisi, tanggung jawab dan kemampuan yang berbeda dari Para Pihak dan komitmen terkait mereka menurut Protokol ini.

(e) Mempromosikan dan membina sesuai dengan tujuan Konvensi dan ketentuan Protokol ini dan dengan sepenuhnya memperhatikan keputusan Konferensi Para Pihak yang relevan, pengembangan dan penghalusan berkala metodologi yang sebanding untuk pelaksanaan efektif Protokol ini, untuk disetujui dalam Konferensi Para Pihak yang berfungsi sebagai Sidang Para Pihak pada Protokol ini.

(f) Membuat rekomendasi mengenai setiap hal yang perlu untuk melaksanakan Protokol ini.

- (g) Berusaha untuk menggerakkan sumber keuangan tambahan sesuai dengan Pasal 11 ayat 2.
- (h) Mendirikan badan-badan pendukung tersebut jika dipandang perlu untuk melaksanakan Protokol ini.
- (i) Mencari dan memanfaatkan, jika tepat, pelayanan dan kerja sama dari dan informasi yang diberikan oleh organisasi internasional yang kompeten dan badan antar pemerintah dan non-pemerintah; dan
- (j) Melaksanakan fungsi lain sebagaimana mungkin dipersyaratkan untuk melaksanakan Protokol ini dan mempertimbangkan tugas yang berasal dari suatu keputusan oleh Konferensi Para Pihak.

5. Aturan-aturan dari prosedur Konferensi Para Pihak dan prosedur keuangan yang digunakan berdasarkan Konvensi akan digunakan mutatis mutandis. sebagaimana diatur dalam Protokol ini, kecuali sebagaimana mungkin ditentukan melalui konsensus dalam Konferensi Para Pihak yang berfungsi sebagai Sidang Para Pihak dalam Protokol ini.

6. Sesi pertama Konferensi Para Pihak yang berfungsi sebagai Sidang Para Pihak Protokol ini akan diadakan oleh sekretariat sehubungan dengan sesi pertama Konferensi Para Pihak yang dijadwalkan setelah tanggal berlakunya Konferensi Para Pihak yang berfungsi sebagai Sidang Para Pihak dalam Protokol ini akan diadakan setiap tahun dan sehubungan dengan sidang-sidang biasa Konferensi Para Pihak, jika tidak ditentukan dalam Konferensi Para Pihak yang berfungsi sebagai Sidang Para Pihak pada Protokol ini.

7. Sesi luar biasa Konferensi Para Pihak yang berfungsi sebagai Sidang Para Pihak pada Protokol ini diselenggarakan pada kesempatan lain sebagaimana mungkin dipandang perlu dalam Konferensi Para Pihak Protokol ini, atau atas permintaan tertulis setiap Pihak, asalkan dalam waktu 6 bulan setelah permintaan tersebut dikomunikasikan kepada Para Pihak oleh sekretariat, ia didukung oleh sedikitnya 1/3 dari Para Pihak.

8. PBB, badan-badan khususnya dan Badan Atom International serta anggota negara atau pengamat yang bukan pihak, Konvensi dapat diwakilkan pada sidang-sidang Konferensi para Pihak yang berfungsi sebagai Sidang Para Pihak Protokol ini sebagai pengamat. Setiap badan atau instansi, baik nasional atau internasional, pemerintah atau non-pemerintah, yang cakap dalam

hal-hal yang tercakup dalam Protokol ini dan, yang telah memberitahukan sekretariat tentang keinginannya untuk diwakili dalam sesi Konferensi Para Pihak yang berfungsi sebagai Sidang Para Pihak Protokol ini sebagai pengamat, dapat diterima demikian, kecuali tidak diterima oleh sedikitnya 1/3 dari Para Pihak yang hadir. Penerimaan dan partisipasi para pengamat mengikuti aturan prosedur, seperti yang dimaksud dalam ayat 5 di atas.

#### Pasal 14

1. Sekretariat yang ditetapkan dalam Pasal 8 Konvensi akan berfungsi sebagai sekretariat Protokol ini.
2. Pasal 8, ayat 2 Konvensi mengenai fungsi sekretariat dan Pasal 8 ayat 3 Konvensi tersebut tentang pengaturan yang dibuat terkait dengan fungsi sekretariat, berlaku mutatis mutandis pada Protokol ini. Selain itu, sekretariat akan melaksanakan fungsi yang diatur dalam Protokol ini,

#### Pasal 15

1. Badan Pendukung untuk Nasehat Ilmiah dan Teknologi dan Badan Pendukung untuk Pelaksanaan yang didirikan menurut Pasal 9 dan 10 Konvensi akan berfungsi sebagai, masing-masing, Badan Pendukung untuk Nasehat Ilmiah dan Teknologi dan Badan Pendukung untuk Pelaksanaan Protokol ini. Ketentuan yang terkait dengan fungsi kedua badan tersebut menurut Konvensi akan berlaku mutatis mutandis berdasarkan Protokol ini. Sesi pertemuan Badan Pendukung untuk Nasehat-nasehat ilmiah dari Teknologi dan Badan Pendukung untuk Pelaksanaan Protokol ini akan diadakan berkaitan dengan pertemuan, masing-masing Badan Pendukung untuk Nasehat ilmiah dan Teknologi dan Badan Pendukung untuk Pelaksanaan.
2. Para Pihak Konvensi yang bukan merupakan Para Pihak Protokol ini dapat berpartisipasi sebagai pengamat dalam setiap sesi pertemuan badan bawahan. Jika badan pendukung yang merupakan badan pendukung Protokol ini, keputusan terkait Protokol ini akan diambil hanya oleh mereka yang merupakan Para Pihak dalam Protokol ini.

3. Apabila badan pendukung yang ditetapkan dalam Pasal 9 dan 10 Konvensi melaksanakan fungsi mereka terkait dengan hal-hal pada Protokol ini, setiap anggota Biro dari badan pendukung tersebut yang mewakili suatu Pihak Konvensi itu tetapi, pada waktu itu bukan merupakan pihak Protokol ini akan diganti oleh suatu anggota tambahan yang akan dipilih oleh dan dari antara Para Pihak pada Protokol ini.

#### Pasal 16

Konferensi Para Pihak yang berfungsi sebagai Sidang Para Pihak pada Protokol ini harus, sesegera mungkin mempertimbangkan aplikasi Protokol dan memodifikasi sebagaimana perlu, proses konsultasi multilateral yang dimaksud dalam Pasal 13 Konvensi, menurut keputusan yang relevan yang dapat ditetapkan dalam Konferensi Para Pihak. Setiap proses konsultasi multilateral yang dapat digunakan dalam Protokol ini akan beroperasi tanpa mengurangi arti prosedur dan mekanisme yang ditentukan sesuai dengan Pasal 18.

#### Pasal 17

Konferensi Para Pihak harus mendefinisikan prinsip, modalitas, aturan dan pedoman yang relevan, khususnya untuk verifikasi, pelaporan dan pertanggungjawaban perdagangan emisi. Para Pihak yang termasuk dalam Lampiran B dapat ikut serta dalam perdagangan emisi untuk memenuhi komitmen mereka dalam Pasal 3. Setiap perdagangan tersebut akan bersifat tambahan terhadap upaya domestik untuk memenuhi pembatasan emisi yang terukur dan komitmen pengurangan dalam Pasal itu.

#### Pasal 18

Konferensi Para Pihak yang berfungsi sebagai sidang Para Pihak pada Protokol ini akan dalam sesi pertamanya menyetujui prosedur dan mekanisme yang tepat dan efektif untuk menentukan dan mengantisipasi kasus ketidaktaatan terhadap ketentuan Protokol ini, termasuk melalui pengembangan suatu daftar indikatif konsekuensi dengan memperhatikan sebab, jenis, tingkat

dan frekuensi ketidaktaatan. Setiap prosedur dan mekanisme dalam Pasal ini yang memerlukan konsekuensi yang mengikat akan diterima dengan cara mengeluarkan perubahan terhadap Protokol ini.

#### Pasal 19

Ketentuan Pasal 14 Konvensi mengenai penyelesaian perselisihan akan mengikuti mutatis mutandis dalam Protokol ini.

#### Pasal 20

1. Setiap Pihak boleh mengusulkan perubahan atas Protokol ini.
2. Perubahan-perubahan terhadap Protokol ini akan diterima dalam suatu sesi biasa Konferensi Para Pihak yang berfungsi sebagai pertemuan Para Pihak dalam Protokol ini. Teks dari setiap perubahan yang diusulkan atas Protokol ini harus dikomunikasikan ke Para Pihak oleh sekretariat sedikitnya 6 bulan sebelum pertemuan yang bertujuan untuk penerimaan. Sekretariat juga akan mengkomunikasikan teks untuk setiap perubahan yang diusulkan kepada Para Pihak dan pihak penandatanganan Konvensi dan, sebagai informasi kepada tempat penyimpanan;
3. Para Pihak akan berupaya, untuk mencapai persetujuan untuk setiap perubahan Protokol yang diusulkan melalui Konsensus, Jika semua usaha pada konsensus telah habis dan belum mencapai persetujuan, maka perubahan tersebut sebagai pilihan terakhir akan disetujui oleh mayoritas suara 3/4 dari para Pihak yang hadir dan memberi suara pada pertemuan tersebut. Perubahan yang disetujui itu akan dikomunikasikan oleh sekretariat kepada tempat penyimpanan, yang akan mengedarkannya kepada semua Pihak untuk mendapatkan persetujuan mereka.
4. Instrumen penerimaan dalam hal perubahan akan disimpan pada tempat penyimpanan. Suatu perubahan yang diterima sesuai dengan ayat 3 di atas akan berlaku bagi Para Pihak yang telah menerimanya pada hari ke 90 setelah tanggal penerimaan di tempat penyimpanan oleh suatu instrumen penerimaan oleh paling sedikit 3/4 dari Para Pihak Protokol ini.

5. Perubahan tersebut akan berlaku bagi Pihak lain pada hari ke 90 setelah tanggal waktu Pihak tersebut menyerahkan pada penyimpanan instrumen penerimaan terhadap perubahan yang dimaksud.

## Pasal 21

1. Lampiran Protokol ini akan merupakan suatu bagian integral dari perjanjian ini, kecuali tidak ditentukan lain secara jelas, suatu rujukan atas Protokol ini merupakan, pada waktu yang sama, suatu rujukan bagi setiap lampiran tersebut. Lampiran yang diterima setelah berlakunya Protokol ini akan dibatasi pada daftar, formulir dan bahan-bahan 1 deskriptif lainnya yang bersifat ilmiah, teknis, prosedural atau administratif.

2. Setiap Pihak dapat membuat usulan untuk suatu, lampiran atas Protokol ini dan boleh mengusulkan perubahan atas lampiran Protokol ini.

3. Lampiran atas Protokol ini dan perubahan atas lampiran Protokol ini akan diterima dalam suatu sesi biasa dari Konferensi Para Pihak yang merupakan sidang Para Pihak Protokol ini. Teks dari setiap lampiran atau perubahan yang diusulkan atas suatu lampiran akan dikomunikasikan kepada Para Pihak oleh sekretariat paling sedikit 6 bulan sebelum pertemuan pengusulan adopsi Sekretariat itu juga akan mengkomunikasikan teks dari setiap lampiran atau perubahan yang diusulkan atas suatu lampiran kepada Para Pihak dan para penandatangan Konvensi itu dan, sebagai informasi kepada penyimpanan.

4. Para pihak akan berupaya untuk mencapai suatu persetujuan terhadap suatu usulan lampiran atau perubahan atas suatu lampiran melalui konsensus. Jika semua usaha atas konsensus itu gagal dan tidak dicapai persetujuan, maka lampiran atau perubahan atas suatu lampiran akan disetujui sebagai pilihan terakhir oleh 3/4 suara mayoritas dari Para Pihak yang hadir dan yang memberikan hak suaranya di rapat itu. Lampiran atau perubahan yang diterima atas suatu lampiran akan dikomunikasikan oleh sekretariat kepada tempat penyimpanan, yang akan mengedarkannya kepada semua Pihak untuk meminta persetujuan mereka.

5. Suatu lampiran atau perubahan atas suatu lampiran selain Lampiran A atau B, yang telah diadopsi sesuai dengan ayat 3 dan 4 di atas akan berlaku bagi semua Pihak dalam Protokol ini 6 bulan setelah tanggal komunikasi yang dilakukan oleh penyimpanan kepada Para Pihak tersebut tentang adopsi lampiran atau penerima perubahan atas lampiran, kecuali bagi Para Pihak yang telah memberitahukan penyimpanan, secara tertulis dalam jangka tersebut ketidak setujuan mereka akan lampiran atau perubahan atas lampiran tersebut. Lampiran atau perubahan atas suatu lampiran akan berlaku bagi Para Pihak yang menarik kembali pemberitahuan ketidak setujuan mereka pada hari ke 90 setelah tanggal penarikan pemberitahuan tersebut diterima oleh penyimpanan.

6. Apabila penerimaan suatu lampiran atau suatu perubahan atas suatu lampiran melibatkan suatu perubahan atas Protokol ini, lampiran atau perubahan atas suatu lampiran tersebut tidak akan berlaku sampai perubahan atas Protokol ini berlaku.

7. Perubahan atas lampiran A dan B atas Protokol ini akan diadopsi dan berlaku sesuai dengan prosedur yang ditetapkan dalam Pasal 20, asalkan perubahan atas Lampiran B akan diterima hanya dengan persetujuan tertulis dari Pihak yang bersangkutan.

## Pasal 22

1. Setiap pihak wajib memiliki satu hak suara, kecuali sebagaimana yang dicantumkan dalam ayat 2 di bawah.

2. Organisasi-organisasi integrasi ekonomi regional, dalam hal yang sesuai kompetensi mereka, wajib menggunakan haknya untuk memberikan suara dengan jumlah suara yang sama dengan jumlah negara anggotanya yang merupakan Para Pihak dalam Protokol ini. Organisasi semacam itu dilarang menggunakan hak suaranya jika ada satu negara anggotanya yang menggunakan haknya dan sebaliknya.

## Pasal 23

Sekretaris Jenderal Perserikatan Bangsa-Bangsa wajib menjadi Depositari Protokol ini.

## Pasal 24

1. Protokol ini harus terbuka untuk ditandatangani dan dilakukan ratifikasi, penerimaan atau persetujuan oleh negara-negara dan organisasi-organisasi Integrasi ekonomi regional yang merupakan Para Pihak Konvensi. Protokol harus terbuka untuk ditandatangani di Markas Besar Perserikatan Bangsa-Bangsa di New York dari 16 Maret 1998 sampai dengan 15 Maret 1999. Protokol ini harus terbuka untuk dilakukan aksesi, sejak hari setelah tanggal batas waktu penandatanganan berakhir. Piagam ratifikasi, penerimaan, persetujuan atau aksesi wajib disimpan oleh Depositari.

2. Setiap organisasi integrasi ekonomi regional yang menjadi Pihak dalam Protokol ini tanpa ada negara anggotanya yang menjadi Pihak pada Protokol wajib terikat oleh semua kewajiban berdasarkan Protokol ini. Dalam hal organisasi semacam itu, jika ada satu atau lebih negara anggotanya merupakan Pihak dalam Protokol ini, organisasi dan negara anggotanya wajib menentukan tanggung jawab mereka masing-masing untuk pelaksanaan kewajibannya berdasarkan Protokol ini. Dalam hal semacam ini, organisasi dan negara- negara anggotanya dilarang menggunakan hak-haknya berdasarkan Protokol ini secara bersamaan.

3. Dalam piagam ratifikasi, penerimaan, persetujuan atau aksesinya, organisasi-organisasi integrasi ekonomi regional wajib menyatakan seberapa jauh kompetensinya berkaitan dengan hal-hal yang diatur dalam Protokol ini. Organisasi-organisasi tersebut wajib pula memberitahukan pihak Depositari, yang pada gilirannya wajib memberitahukan Para Pihak mengenai modifikasi yang mendasar sejauh kompetensinya.

## Pasal 25

1. Protokol ini mulai berlaku pada hari ke-90 setelah tanggal piagam ratifikasi, penerimaan persetujuan atau aksesinya diserahkan oleh sekurang-kurangnya 55 Pihak pada Konvensi

termasuk Para Pihak yang tergabung dalam Lampiran I yang jumlah total emisinya sekurang-kurangnya 55% dari jumlah total emisi karbon dioksida pada tahun 1990 dari Para Pihak yang termasuk dalam Lampiran I.

2. Untuk kepentingan Pasal ini, "jumlah total emisi karbon dioksida pada tahun 1990 dari Para Pihak yang termasuk dalam Lampiran I" berarti jumlah yang dikomunikasikan pada atau sebelum tanggal pengadopsian Protokol ini oleh Para Pihak yang termasuk dalam Lampiran I dalam komunikasi nasional pertamanya yang diserahkan sesuai dengan ketentuan Pasal 12 Konvensi.

3. Untuk setiap Negara atau organisasi integrasi ekonomi regional yang meratifikasi, menerima atau menyetujui Protokol ini atau yang melakukan aksesi setelah memenuhi syarat-syarat yang ditetapkan dalam ayat 1 di atas untuk pemberlakuannya. Protokol ini mulai berlaku pada hari ke 90 setelah tanggal penyerahan piagam ratifikasi, penerimaan, persetujuan atau aksesinya.

4. Untuk kepentingan Pasal ini, setiap piagam yang diserahkan oleh suatu organisasi integrasi ekonomi tidak boleh dihitung sebagai tambahan untuk piagam yang telah diserahkan oleh negara-negara anggota organisasi tersebut.

#### Pasal 26

Tidak ada reservasi yang dapat dibuat untuk Protokol ini.

#### Pasal 27

1. Sewaktu-waktu setelah tiga tahun setelah tanggal mulai berlakunya Protokol ini bagi suatu Pihak-Pihak tersebut boleh menarik diri dari Protokol ini dengan memberikan pemberitahuan tertulis kepada Depositari.

2. Setiap penarikan diri tersebut wajib berlaku pada akhir masa satu tahun setelah tanggal diterimanya pemberitahuan penarikan diri oleh Depositari atau pada tanggal setelah itu sebagaimana yang ditentukan dalam pemberitahuan penarikan diri.

3. Setiap Pihak yang menarik diri dari Konvensi wajib dianggap pula telah menarik diri dari Protokol ini.

#### Pasal 28

Naskah asli dari Protokol ini, yang dalam teks bahasa Arab, Cina, Inggris, Perancis, Rusia, dan Spanyol sama otentiknya, wajib disimpan di Sekretaris Jenderal Perserikatan Bangsa Bangsa.

DIBUAT di Kyoto pada dua belas Desember tahun seribu sembilan ratus sembilan puluh tujuh.

SEBAGAI BUKTI penanda tangan, yang telah diberi kuasa untuk hal itu, telah membubuhkan tandatangannya pada Protokol ini pada tanggal yang tertera.

## LAMPIRAN A

Gas-gas rumah kaca  
Karbondioksida (CO<sub>2</sub>)  
Metana (CH<sub>4</sub>)  
Nitrous Oksida (N<sub>2</sub>O)  
Hidrofluorokarbon (HFCs)  
Perfluorokarbon (PFCs)  
Sulfur Heksafluorida (SF<sub>6</sub>)

### Kategori sektor/sumber

#### Energi

##### Pembakaran bahan bakar

- \* Industri Energi
- \* Industri manufaktur dan konstruksi
- \* Transportasi
- \* Sektor lain
- \* Lain-lain

##### Emisi larian bahan bakar

- \* Bahan bakar padat
- \* Minyak dan gas Alam
- \* Lain-lain

#### Proses Industri

Produk mineral  
Industri Kimia  
Produksi logam  
Produksi lain  
Produksi halokarbon dan sulfur heksafluorida  
Konsumsi halokarbon dan sulfur heksafluorida  
Lain-lain

#### Bahan pelarut dan penggunaan produk lain

#### Pertanian

Fermentasi Enterik  
Pengelolaan pupuk  
Penanaman Padi  
Tanah pertanian  
Pembakaran padang rumput yang ditentukan  
Pembakaran lahan residu pertanian  
Lain-lain

#### Limbah

Pembuangan limbah padat di darat  
Penanganan air limbah  
Pembakaran limbah  
Lain-lain

## LAMPIRAN B

| Pihak                             | Pembatasan emisi yang terkuantisir atau komitmen pengurangan<br>(Persentase tahun atau periode dasar) |
|-----------------------------------|---|
| Australia                         | 108   |
| Austria                           | 92  |
| Belgia                            | 92  |
| Bulgaria*                         | 92  |
| Kanada                            | 94  |
| Kroasia*                          | 95  |
| Republik Ceko*                    | 92  |
| Denmark                           | 92  |
| Estonia*                          | 92  |
| Masyarakat Eropa                  | 92  |
| Finlandia                         | 92  |
| Perancis                          | 92  |
| Jerman                            | 92  |
| Yunani                            | 92  |
| Hongaria*                         | 94  |
| Islandia                          | 110   |
| Islandia                          | 92  |
| Irlandia                          | 92  |
| Italia                            | 94  |
| Jepang                            | 92  |
| Latvia*                           | 92  |
| Liechtenstein                     | 92  |
| Lituania*                         | 92  |
| Luxembourg                        | 92  |
| Monaco                            | 92  |
| Nederland                         | 92  |
| Selandia Baru                     | 100   |
| Norwegia                          | 101   |
| Polandia*                         | 94  |
| Portugis                          | 92  |
| Romania*                          | 92  |
| Federasi Rusia*                   | 100   |
| Slovakia*                         | 92  |
| Slovenia*                         | 92  |
| Spanyol                           | 92  |
| Swedia                            | 92  |
| Switzerland                       | 92  |
| Ukraina*                          | 100   |
| Negeri Inggris dan Irlandia Utara | 92  |
| Amerika Serikat                   | 93  |

\* Negara-negara yang sedang mengalami proses transisi menuju ekonomi pasar

### A3. Statistik Negara-Negara Asia

Data statistik perwakilan negara-negara Asia yang tersedia disajikan pada Tabel A3.1.1.

Tabel A3.1.1 Statistik negara-negara Asia (tahun 2003)

|                   | GDP<br>[GUSD]*1 | Populasi<br>[M]*2 | Konsumsi energi<br>primer [Mtoe]*3 | Emisi CO <sub>2</sub><br>[Mt-C]*4 |
|-------------------|-----------------|-------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| Brunei Darussalam | 5               | 0.3               | 3                                  | 2                                 |
| Indonesia         | 168             | 215               | 118                                | 91                                |
| Jepang            | 4,876           | 128               | 517                                | 336                               |
| Korea             | 586             | 48                | 205                                | 124                               |
| Malaysia          | 99              | 25                | 54                                 | 41                                |
| Filipina          | 85              | 82                | 32                                 | 19                                |
| R.R China         | 1.375           | 1.288             | 1.190                              | 1.127                             |
| Singapura         | 93              | 4                 | 22                                 | 14                                |
| Taipei, China     | 314             | 23                | 98                                 | 69.6                              |
| Thailand          | 141             | 62                | 74                                 | 58                                |
| Vietnam           | 38              | 81                | 21                                 | 17                                |
| Asia keseluruhan  | 9.246           | 3.467             | 2.783                              | 2.280                             |

\*1 miliar dolar US

\*2 juta orang

\*3 juta ton oil ekuivalen

\*4 juta ton C

## A4. Konversi Satuan

Literatur biomassa ditemukan dalam berbagai bidang, dan terkadang, satuan yang tidak dikenal sering digunakan. Karena pemanfaatan satuan SI direkomendasikan, maka satuan SI dijelaskan terlebih dahulu, kemudian konversi dengan satuan lain dijelaskan pada bagian ini. Jika Anda bisa membaca Bahasa Jepang, buku karangan Koizumi dan Ebihara sangat bermanfaat.

### A4.1 Sistem Satuan SI

Penggunaan sistem satuan SI telah direkomendasikan di tingkat International pada General Conference on Weights and Measures tahun 1960, dan banyak negara termasuk Jepang secara resmi menggunakan sistem satuan ini. Sistem satuan SI terdiri atas tujuh satuan dasar, dan beberapa satuan turunan, yang dibagi berdasarkan satuan dasar tersebut. Selain itu, digunakan awalan untuk menerangkan pangkat bilangan bulat dengan basis 10 yang akan dikalikan ke satuan dasar. Berikut ini adalah daftar satuan tersebut.

Tabel A4.1.1 Satuan dasar SI

| Kuantitas dasar | Simbol (nama) | Kuantitas dasar     | Simbol (nama) |
|-----------------|---------------|---------------------|---------------|
| Panjang         | m (meter)     | Suhu termodinamika  | K (kelvin)    |
| Massa           | kg (kilogram) | Jumlah zat          | mol (mol)     |
| Waktu           | s (detik)     | Intensitas Luminous | cd (kandela)  |
| Arus listrik    | A (amper)     |                     |               |

Tabel A4.1.2 Satuan untuk sudut

| Kuantitas dasar | Simbol (nama)  |
|-----------------|----------------|
| Sudut bidang    | rad (radian)   |
| Sudut ruang     | sr (steradian) |

\*1 untuk memahami konsep sudut ruang, perhatikan cahaya yang diemisikan dari senter. Seberapa lebar cahaya yang diemisikannya diilustrasikan sebagai sudut ruang. Misalkan sebuah bola dengan jari-jari R yang pusatnya adalah sumber cahaya, maka 1 sr sudut ruang adalah ketebalan cahaya ketika cahaya membentuk luas atau  $R^2$  pada bola.

\*2 satuan ini aslinya merupakan satuan pendukung tetapi menjadi satuan turunan pada 1995.

Tabel A4.1.1 Satuan turunan SI

| Kuantitas dasar | Simbol (nama) | Penjelasan dalam satuan dasar SI                    |
|-----------------|---------------|---|
| Gaya            | N (newton)    | $\text{m kg s}^{-2}$                                |
| Tekanan         | Pa (pascal)   | $\text{N m}^{-2} = \text{m}^{-1} \text{ kg s}^{-2}$ |
| Energi, kerja   | J (joule)     | $\text{N m} = \text{m}^2 \text{ kg s}^{-2}$         |
| Daya            | W (watt)      | $\text{J s}^{-1} = \text{m}^2 \text{ kg s}^{-2}$    |

Tabel A4.1.4 Awalan SI

| Simbol (nama) | Faktor    | Simbol (nama) | Faktor     |
|---------------|-----------|---------------|------------|
| da (deka)     | $10^1$    | d (desi)      | $10^{-1}$  |
| h (hektor)    | $10^2$    | c (senti)     | $10^{-2}$  |
| k (kilo)      | $10^3$    | m (mili)      | $10^{-3}$  |
| M (mega)      | $10^6$    | $\mu$ (mikro) | $10^{-6}$  |
| G (giga)      | $10^9$    | n (nano)      | $10^{-9}$  |
| T (tera)      | $10^{12}$ | p (piko)      | $10^{-12}$ |
| P (peta)      | $10^{15}$ | f (femto)     | $10^{-15}$ |
| E (eksa)      | $10^{18}$ | a (atto)      | $10^{-18}$ |
| Z (zetta)     | $10^{21}$ | z (zepto)     | $10^{-21}$ |
| Y (yotta)     | $10^{24}$ | y (yokto)     | $10^{-24}$ |

\*1 Jika memungkinkan, pilih awalan sehingga angka sebelumnya jatuh pada interval 0,1-1000.

Contoh, 50 pm direkomendasikan, bukan 0,05 nm.

\*2 Satuan dasar massa adalah “kg”, tetapi awalan ditambahkan pada “g”. Contoh, 29 mg digunakan, bukan 20 mkg.

\*3 Untuk menghasilkan satuan turunan yang dibentuk dari satuan perkalian, hanya awalan yang digunakan. Contoh, 20 kg/m<sup>2</sup> digunakan, bukan 20 kg/m<sup>2</sup>. Pengecualian untuk “kg”. Contoh, 21 MJ/kg digunakan, bukan 21 kJ/g.

## A4.1 Sistem Satuan SI

Walaupun direkomendasikan untuk menggunakan sistem satuan SI, dalam bidang energi, satuan tradisional seperti “barel” atau “ton minyak ekuivalen” sering digunakan hingga saat ini. Konversi satuan juga diperlukan ketika membaca pustaka lama.

Jika kuantitas dalam satu satuan diharapkan dalam satuan lainnya, maka diperlukan rumus konversi. Sebagai contoh, suhu dalam °C  $T_C$  dikonversi menjadi °K  $T_K$  melalui rumus sebagai berikut:

$$T_K = T_C + 273,15$$

Jika rumus konversi mengambil bentuk persamaan proporsional, maka konstanta proporsionalitas disebut sebagai faktor konversi. Sebagai contoh, dalam rumus konversi untuk mengubah panjang dalam in (inchi) menjadi panjang dalam m (meter)

$$L\ m = 2,54 \times 10^{-2}\ L\ in,$$

Faktor konversinya adalah  $2,54 \times 10^{-2}$  m/in.

Untuk mengubah satuan turunan yang dibentuk dari satuan perkalian, maka ganti satuan asli dengan rumus konversi yang sesuai. Sebagai contoh, untuk mengubah 1500 ft/h menjadi satuan m/s, maka 1 ft =  $3,048 \times 10^{-1}$  m dan 1 h = 3600 s digunakan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} 1500\ \text{ft/h} &= 1500\ (3,048 \times 10^{-1}\ \text{m}) / (3600\ \text{s}) \\ &= (1500)\ (3,048 \times 10^{-1}) / (3600)\ \text{m/s} \\ &= 0,127\ \text{m/s} \end{aligned}$$

Untuk mengubah persamaan yang digambarkan dalam satu sistem satuan menjadi persamaan yang dinyatakan ke dalam sistem satuan yang lain, maka ganti rumus konversi menjadi peubah dalam persamaan. Sebagai contoh, jika rumus berikut untuk tekanan uap air

$$\ln(p_{Torr}) = 18,30363 - \frac{3816,44}{227,02 + T_C}$$

akan diubah menjadi sistem satuan SI, maka rumus konversi

$$P_{Torr} = 7,50062 \times 10^{-3}\ P_{pa}$$

$$T_K = T_C + 273,15$$

diubah. Jadi,

$$\ln(7,50062 \times 10^{-3} P_{pa}) = 18,30363 - \frac{3816,44}{227,02 + (T_K - 273,15)}$$

$$\ln(7,50062 \times 10^{-3}) + \ln P_{pa} = 18,30363 - \frac{3816,44}{227,02 - 273,15 + T_K}$$

$$\ln P_{pa} = 18,30363 - \ln(7,50062 \times 10^{-3}) - \frac{3816,44}{227,02 - 273,15 + T_K}$$

dan akhirnya,

$$\ln P_{pa} = 23,1964 - \frac{3816,44}{-46,13 + T_K}$$

diperoleh.

Pada halaman berikutnya disajikan tabel faktor konversi. Garis horizontal menunjukkan kuantitas yang sama. Lambang fortran digunakan dimana  $3,937 \times 10^1$  ditulis sebagai 3,937E+01 dan sebagainya. Sebagai contoh, garis pertama pada Tabel A4.2.1 berarti

$$1 \text{ m} = 3,2808 \text{ ft} = 39,37 \text{ in}$$

Tabel A4.2.1 Faktor konversi untuk panjang

| m          | Ft         | In         |
|------------|------------|------------|
| 1          | 3,2808E+00 | 3,9370E+01 |
| 3,0480E-01 | 1          | 1,2000E+01 |
| 2,5400E-02 | 8,3333E-02 | 1          |

Tabel A4.2.2 Faktor konversi untuk luas

| m <sup>2</sup> | km <sup>2</sup> | a          | Ha         | acre       | mu <sup>*1</sup> | tan <sup>*2</sup> | tsubo <sup>*3</sup> |
|----------------|-----------------|------------|------------|------------|------------------|-------------------|---------------------|
| 1              | 1,0000E-06      | 1,0000E-02 | 1,0000E-04 | 2,4711E-04 | 1,5000E-03       | 1,0083E-03        | 3,0248E-01          |
| 1,0000E+06     | 1               | 1,0000E+04 | 1,0000E+02 | 2,4711E+02 | 1,5000E+03       | 1,0083E+03        | 3,0248E+05          |
| 1,0000E+02     | 1,0000E-04      | 1          | 1,0000E-02 | 2,4711E-02 | 1,5000E-01       | 1,0083E-01        | 3,0248E+01          |
| 1,0000E+04     | 1,0000E-02      | 1,0000E+02 | 1          | 2,4711E+00 | 1,5000E+01       | 1,0083E+01        | 3,0248E+03          |
| 4,0468E+03     | 4,0468E-03      | 4,0468E+01 | 4,0468E-01 | 1          | 6,0702E+00       | 4,0805E+00        | 1,2241E+03          |
| 6,6667E+02     | 6,6667E-04      | 6,6667E+00 | 6,6667E-02 | 1,6474E-01 | 1                | 6,7222E-01        | 2,0165E+02          |
| 9,9174E+02     | 9,9174E-04      | 9,9174E+00 | 9,9174E-02 | 2,4507E-01 | 1,4876E+00       | 1                 | 2,9998E+02          |
| 3,3060E+00     | 3,3060E-06      | 3,3060E-02 | 3,3060E-04 | 8,1694E-04 | 4,9590E-03       | 3,3335E-03        | 1                   |

\*1 satuan tradisional china

\*2 satuan tradisional jepang: 1 cho = 10 tan, 1 tan = 10 se.

\*3 untuk kasus sawah dan hutan, 1 tsubo disebut 1 bu.

Tabel A4.2.3 Faktor konversi untuk massa

| Kg         | t          | short ton<br>(tn) | long ton<br>(l.tn) | lb (pound) | oz (ounce) | kan<br>(Japanese) |
|------------|------------|-------------------|--------------------|------------|------------|-------------------|
| 1          | 1,0000E-03 | 1,1023E-03        | 9,8421E-04         | 2,2046E+00 | 3,5274E+01 | 2,6667E-01        |
| 1,0000E+03 | 1          | 1,1023E+00        | 9,8421E-01         | 2,2046E+03 | 3,5274E+04 | 2,6667E+02        |
| 9,0719E+02 | 9,0719E-01 | 1                 | 8,9286E-01         | 2,0000E+03 | 3,2000E+04 | 2,4192E+02        |
| 1,0160E+03 | 1,0160E+00 | 1,1200E+00        | 1                  | 2,2046E+03 | 3,5840E+04 | 2,7095E+02        |
| 4,5359E-01 | 4,5359E-04 | 5,0000E-04        | 4,4643E-04         | 1          | 1,6000E+01 | 1,2096E-01        |
| 2,8349E-02 | 2,8349E-05 | 3,1250E-05        | 2,7902E-05         | 6,2500E-02 | 1          | 7,5600E-03        |
| 3,7500E+00 | 3,7500E-03 | 4,1336E-03        | 4,1336E-03         | 8,2672E+00 | 1,3228E+02 | 1                 |

Short ton digunakan di US. Long ton digunakan di UK

Tabel A4.2.4 Faktor konversi untuk volume

| m <sup>3</sup> | L           | ft <sup>3</sup> | US gallon  | UK gallon  | bbl        | Koku <sup>*1</sup> |
|----------------|-------------|-----------------|------------|------------|------------|--------------------|
| 1              | 1,0000E+03  | 3,5315E+01      | 2,6417E+02 | 2,1997E+02 | 6,2898E+00 | 5,5400E+03         |
| 1,0000E-03     | 1           | 3,5315E-02      | 2,6417E-01 | 2,1997E+02 | 6,2898E+00 | 5,5400E+03         |
| 2,8317E-02     | 2,8317E+01  | 1               | 7,4805E+00 | 6,2288E+00 | 1,7811E-01 | 1,5699E+02         |
| 3,7854 E-03    | 3,7854 E+00 | 1,3368E-01      | 1          | 8,3267E-01 | 2,3810E-02 | 2,0986E+01         |
| 4,5461E-03     | 4,5461E+00  | 1,6054E-01      | 1,2010E+00 | 1          | 2,8594E-02 | 2,5204E+01         |
| 1,5899E-01     | 1,5899E+02  | 5,6146E+00      | 4,2000E+01 | 3,4972E+01 | 1          | 8,8143E+02         |
| 1,8038E-04     | 1,8038E-01  | 6,3699E-03      | 4,7650E-02 | 3,9677E-02 | 1,1345E-03 | 1                  |

\*1 Satuan tradisional Jepang: 1 koku = 100 sho

\*2 Sejumlah zat gas kadang-kadang dinyatakan menggunakan satuan volume dengan “N”. Jumlah ini sesuai dengan jumlah zat dalam gas dari volume tersebut pada keadaan normal (0°C, 1,013×10<sup>5</sup> Pa). Sebagai contoh, gas 22,4 Nm<sup>3</sup> setara dengan 1 kmol.

\*3 Untuk liter, “L” direkomendasikan untuk membedakan dari “l (i kapital)” dan “l (satu)”.

Tabel A4.2.5 Faktor konversi untuk energi (1)

| J          | kWh        | kcalIT     | KcalJP     | kL minyak<br>ekuivalen | t minyak<br>ekuivalen |
|------------|------------|------------|------------|------------------------|-----------------------|
| 1          | 2,7778E-07 | 2,3885E-04 | 2,3889E-04 | 2,5826E-11             | 2,3885E-11            |
| 3,6000E+06 | 1          | 8,5984E+02 | 8,6000E+02 | 9,2973E-05             | 8,5984E-05            |
| 4,1868E+03 | 1,1630E-03 | 1          | 1,0002E+00 | 1,0813E-07             | 1,0000E-07            |
| 4,1868E+03 | 1,1628E-03 | 9,9982E-01 | 1          | 1,0811E-07             | 9,9982E-08            |
| 3,8721E+10 | 1,0756E+04 | 9,2483E+06 | 9,2500E+06 | 1                      | 9,2483E-01            |
| 4,1868E+10 | 1,1630E+04 | 1,0000E+07 | 1,0002E+07 | 1,0813E+00             | 1                     |

\*1 Ton minyak ekuivalen disingkat sebagai TOE.

\*2 Untuk menghitung efisiensi proses, khususnya ketika permintaan kalor dan listrik sebanding, maka jumlah energi listrik diubah menjadi energi termal ekuivalen dengan membaginya dengan efisiensi pembangkit listrik. Efisiensi yang digunakan untuk tujuan ini harus berbeda dari satu negeri ke negeri lainnya, atau bergantung pada kasus. Di Jepang, Statistik pemerintah memakai 1 kWh = 9,42 MJ, dengan asumsi bahwa efisiensi pembangkit listrik sebesar 38% untuk kasus setelah 1971.

Tabel A4.2.6 Faktor konversi untuk energi (2)

| J          | Btu        | kgf m      | ft lbf     | HP h       |
|------------|------------|------------|------------|------------|
| 1          | 9.4782E-04 | 1.0197E-01 | 7.3750E-01 | 3.7417E-07 |
| 1.0551E+03 | 1          | 1.0759E+02 | 7.7810E+02 | 3.9477E-04 |
| 9.8066E+00 | 9.2948E-03 | 1          | 7.2324E+00 | 3.6693E-06 |
| 1.3559E+00 | 1.2852E-03 | 1.3827E-01 | 1          | 5.0734E-07 |
| 2.6726E+06 | 2.5331E+03 | 2.7253E+05 | 1.9710E+06 | 1          |

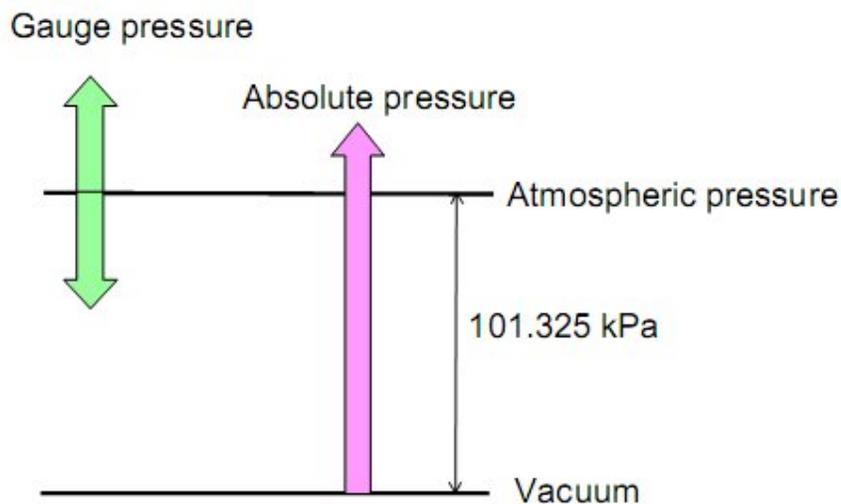
Btu merupakan singkatan dari British thermal unit.

Tabel A4.2.7 Faktor konversi untuk tekanan

| Pa         | psi        | kgf/cm <sup>2</sup> | atm        | bar        | Torr       |
|------------|------------|---------------------|------------|------------|------------|
| 1          | 1.4499E-04 | 1.0194E-05          | 9.8697E-06 | 1.0000E-05 | 7.5010E-03 |
| 6.8971E+03 | 1          | 7.0307E-02          | 6.8073E-02 | 6.8971E-02 | 5.1735E+01 |
| 9.8100E+04 | 1.4223E+01 | 1                   | 9.6822E-01 | 9.8100E-01 | 7.3585E+02 |
| 1.0132E+05 | 1.4690E+01 | 1.0328E+00          | 1          | 1.0132E+00 | 7.6000E+02 |
| 1.0000E+05 | 1.4499E+01 | 1.0194E+00          | 9.8697E-01 | 1          | 7.5010E+02 |
| 1.3332E+02 | 1.9329E-02 | 1.3590E-03          | 1.3158E-03 | 1.3332E-03 | 1          |

\*1 1 Torr = 1 mmHg. Juga dinyatakan sebagai torr, akan tetapi karena satuan ini dinamakan setelah nama seseorang (Torricelli), huruf kapital direkomendasikan.

\*2 Ada dua jenis tekanan: mutlak (absolute) dan tolok (gauge). Tekanan mutlak dan tolok dinyatakan dengan menambahkan A dan G setelah satuan, secara berurutan. Tekanan mutlak diukur dari vakum mutlak. Tekanan tolok diukur dari tekanan atmosfer. Oleh karena itu, tekanan mutlak lebih besar dibandingkan tekanan tolok sebesar 1 atm. Sebagai contoh, 5 atmG = 6 atmA.



Gambar 4.2.1 Tekanan mutlak dan tolok.

Tabel A4.2.8 Faktor konversi untuk daya listrik

| W          | Metric horse<br>power | HP         | kgf m/s    | ft lb/s    | kcal/s     |
|------------|-----------------------|------------|------------|------------|------------|
| 1          | 1,3596E-03            | 1,3410E-03 | 1,0197E-01 | 7,3756E-01 | 2,3885E-04 |
| 7,3550E+02 | 1                     | 9,8630E-01 | 7,5000E+01 | 5,4248E+02 | 1,7567E-01 |
| 7,4571E+02 | 1,0139E+00            | 1          | 7,6042E+01 | 5,5001E+02 | 1,7811E-01 |
| 9,8066E+00 | 1,3333E-02            | 1,3151E-02 | 1          | 7,2330E+00 | 2,3423E-03 |
| 1,3558E+00 | 1,8434E-03            | 1,8182E-03 | 1,3826E-01 | 1          | 3,2383E-04 |
| 4,1868E+03 | 5,6925E+00            | 5,6145E+00 | 4,2694E+02 | 3,0880E+03 | 1          |

## A4.3 Konsentrasi alkohol dan gula

Ada berbagai pernyataan untuk konsentrasi gula dan alkohol dikarenakan tradisi. Produksi etanol dari gula adalah sebuah teknologi penting untuk penggunaan biomassa, namun berbagai satuan digunakan dari literatur ke literatur. Harus berhati-hati ketika membaca literatur.

### *A4.3.1 Konsentrasi Alkohol*

Satuan berikut digunakan.

Konsentrasi molar: satuan SI. Jumlah molar alkohol (etanol) dalam 1 L larutan. Satuannya adalah mol (-EtOH)/L (-larutan). Kadang-kadang dinyatakan sebagai "M".

Konsentrasi molal: satuan SI. Jumlah molar alkohol dalam 1 kg pelarut. Satuannya adalah mol (-EtOH)/kg (-pelarut). Kadang-kadang dinyatakan sebagai "m".

Persentase volumetrik: Rasio volume alkohol sebelum dicampur ke dalam sejumlah volume air dan alkohol sebelum pencampuran. Karena volume berkurang dengan mencampurkan air dan alkohol, volume sebelum pencampuran digunakan sebagai dasar. Satuannya adalah %vol.

Proof (AS): Digunakan di AS. Persentase volumetrik di kalikan dua.

Proof (Inggris): Ukuran khusus dimana air menjadi 100 proof dan alkohol murni menjadi 75,1 proof. Jika persentase volumetrik adalah  $w$ , maka nilainya dalam satuan ini adalah  $(w/57,1) \times 100 - 100$ . Untuk konsentrasi alkohol 57,1 %vol, proof Inggris adalah nol.

### *A4.3.1 Konsentrasi gula*

Konsentrasi molar dan molal didefinisikan dengan cara yang sama seperti alkohol. Akan tetapi, jelas bahwa gula dinyatakan dalam mol-glukosa, total mol gula yang ada untuk fermentasi etanol, hanya monomer, atau monomer setara untuk monomer, dimer, trimer, dan lain-lain.

Persentase bobot: persentase bobot gula dalam 1 kg larutan. Satuannya adalah %wt atau %massa.

Brix: sama dengan persentase bobot. Akan tetapi, tidak ekuivalen untuk Brix yang digunakan sebagai satuan kerapatan.

## A4.4 Suhu

Suhu mutlak dan suhu lainnya haruslah dibedakan. Suhu mutlak yang berhubungan dengan suhu Celsius °C adalah K (kelvin), dan yang berhubungan dengan suhu Fahrenheit °F adalah R (rankine). Karena tidak terukur secara proporsional, rumus konversi berikut harus digunakan. Tabel A4.4.1 berikut menunjukkan rumus konversi.

Tabel A4.4.1 Rumus konversi untuk suhu

| Konversi satuan | Rumus konversi             |
|-----------------|----------------------------|
| °C → K          | $TK = TC + 273,15$         |
| °C → °F         | $TF = 1,8 TC + 32$         |
| °C → R          | $TR = 1,8 TC + 491,67$     |
| K → °C          | $TC = TK - 273,15$         |
| K → °F          | $TF = 1,8 TK - 459,67$     |
| K → R           | $TR = 1,8 TK$              |
| °F → °C         | $TC = (5/9) (TF - 32)$     |
| °F → K          | $TK = (5/9) (TF + 459,67)$ |
| °F → R          | $TR = TF + 459,67$         |
| R → °C          | $TC = (5/9) TR - 273,15$   |
| R → K           | $TK = (5/9) TR$            |
| R → °F          | $TF = TR - 459,67$         |

## A4.5 Nilai kalor (Lihat juga Bab 2.4)

Nilai kalor adalah jumlah kalor yang dilepaskan ketika senyawa organik terbakar secara sempurna. Tergantung pada kondisi produk air, yaitu uap air atau cairan, nilainya berbeda karena kalor laten. Ketika produk air dalam bentuk uap, nilai kalornya lebih kecil, dan disebut sebagai nilai kalor lebih rendah (LHV). Ketika produk air dalam bentuk cairan, nilai kalornya disebut nilai kalor lebih tinggi (HHV). Harus diketahui nilai kalor yang mana yang digunakan, dan nilai kalor yang sesuai harus digunakan bergantung pada situasi. Nilai-nilai kalor ini setara dengan nilai perubahan entalpi untuk reaksi pembakaran yang sesuai, tetapi dengan tanda yang berubah. Rumus konversinya adalah sebagai berikut:

$$HHV[\text{MJ/kg}] = LHV [\text{MJ/kg}] + 20,3w_H$$

dimana  $w_H$  adalah fraksi bobot atom hidrogen dalam senyawa organik.

Ketika membahas nilai kalor biomassa yang kadar airnya tidak nol, maka perlu diketahui hal-hal berikut ini

1. Apakah nilai kalor untuk bobot kering atau bobot basah?
2. Apakah kalor laten air yang terkandung dikurangi dari nilai kalor atau kalor latin diabaikan?

Untuk hal 1, bagian "dasar massa" harus dirujuk. Untuk hal 2, ketika proses seperti pembakaran didiskusikan, kalor laten ini tidak dapat diperoleh kembali secara praktis, dan biasanya dikurangi dari awal, tetapi ketika proses seperti biometanasi didiskusikan, kalor laten ini diabaikan.

Jika kadar air berdasarkan bobot adalah  $w_w$  [kg-air/kg-basah], nilai kalor dari kalor laten air yang terkandung dikurangi,  $HV_{net}$  [J/kg-basah], dan nilai dimana pengurangan tidak dilakukan,  $HV_{int}$  [J/kg-basah] terkait seperti berikut:

$$HV_{net} = HV_{int} - w_w \Delta H_{ww}$$

dimana  $\Delta H_{ww}$  adalah kalor laten berbasis massa. Nilai  $\Delta H_{ww}$  adalah  $2,443 \times 10^6$  J/kg - H<sub>2</sub>O pada 25°C.

## A4.6 Basis bobot

Jika nilai karakteristik biomassa per satuan bobot didiskusikan, maka perlu diketahui hal-hal sebagai berikut:

1. Apakah bobot satuan dengan atau tanpa air?
2. Apakah bobot satuan dengan atau tanpa abu?

Jika biomassa dengan kadar air dan abu yang rendah seperti kayu kering didiskusikan, efek perubahan ini kecil. Akan tetapi, jika biomassa dengan kadar air dan abu tinggi seperti lumpur limbah didiskusikan, efek ini sangat penting. Hubungan antara nilai berbasis bobot kering  $x_{db}$  dan berbasis bobot basah  $x_{wb}$  diterangkan sebagai berikut, dengan menggunakan fraksi bobot air,  $w_w$ .

$$x_{db} = \frac{p}{m_{db}} = \frac{p}{m_{db}(1 - w_w)} = \frac{p/m_{wb}}{(1 - w_w)} = \frac{x_{wb}}{(1 - w_w)}$$

dimana,  $p$  adalah nilai fisis yang akan didiskusikan,  $m_{db}$  dan  $m_{wb}$  merupakan bobot kering dan bobot basah berturut-turut. Seperti sebelumnya, hubungan antara nilai berbasis pada bobot tanpa abu  $x_{af}$ , dan bobot mengandung abu,  $x_{wa}$ , diterangkan sebagai berikut, dengan menggunakan fraksi abu,  $w_{ash}$ .

$$x_{af} = \frac{p}{m_{af}} = \frac{p}{m_{wa}(1 - w_{ash})} = \frac{p/m_{wa}}{(1 - w_{ash})} = \frac{x_{wa}}{(1 - w_{ash})}$$

Sebagai contoh, jika biomassa dengan kadar air sebesar 20%wt digasifikasi, dan produksi gas berbasis bobot basah adalah 0,75 m<sup>3</sup>/kg-basah, maka produksi gas berbasis bobot kering adalah:

$$\frac{0,75}{(1 - 0,2)} = 0,9375 \text{ m}^3/\text{kg} - \text{basah}$$

## **A4.7 Komentar lainnya**

Dalam bidang teknik di AS, simbol "MM" kadang-kadang digunakan. Hal ini sesuai dengan  $10^6$  dari fakta bahwa M menerangkan 1000 dalam sistem angka Roman, dan  $1000 \times 1000 = 10^6$ . Misalnya, 500 MMG berarti  $500 \times 10^6$  galon = 500 juta galon.

Jika satuan diakhiri M yang tidak biasa ditemukan, ini dapat berarti beberapa jumlah "per menit". Sebagai contoh, 200 rpm berarti 200 putaran per menit, 4 GPM berarti 4 galon per menit, dan 34 ccm berarti 35 cm kubik per menit.

## A5. Bobot atom

### A5.1 Bobot atom

Bobot atom sering dibutuhkan dalam perhitungan yang berhubungan dengan biomassa. Tabel A5.1.1 menunjukkan daftar bobot atom. Nilai untuk C, H, O, N, dan S sering digunakan.

Tabel A5.1.1 Bobot atom

| Nomor atom | Simbol unsur | Unsur     | Bobot atom [g/mol] |
|------------|--------------|-----------|--------------------|
| 1          | H            | Hidrogen  | 1,0079             |
| 2          | He           | Helium    | 4,0026             |
| 3          | Li           | Litium    | 6,941              |
| 4          | Be           | Berilium  | 9,0122             |
| 5          | B            | Boron     | 10,811             |
| 6          | C            | Karbon    | 12,0107            |
| 7          | N            | Nitrogen  | 14,0067            |
| 8          | O            | Oksigen   | 15,9994            |
| 9          | F            | Fluorin   | 18,9984            |
| 10         | Ne           | Neon      | 20,1797            |
| 11         | Na           | Natrium   | 22,9897            |
| 12         | Mg           | Magnesium | 24,305             |
| 13         | Al           | Aluminium | 26,9815            |
| 14         | Si           | Silikon   | 28,0855            |
| 15         | P            | Fosforus  | 30,9738            |
| 16         | S            | Sulfur    | 32,065             |
| 17         | Cl           | Klorin    | 35,453             |
| 18         | Ar           | Argon     | 39,948             |
| 19         | K            | Kalium    | 39,0983            |
| 20         | Ca           | Kalsium   | 40,078             |

Tabel A5.1.1 Bobot atom (lanjutan)

| Nomor atom | Simbol unsur | Unsur      | Bobot atom [g/mol] |
|------------|--------------|------------|--------------------|
| 21         | Sc           | Skandium   | 44,9559            |
| 22         | Ti           | Titanium   | 47,867             |
| 23         | V            | Vanadium   | 50,9415            |
| 24         | Cr           | Kromium    | 51,9961            |
| 25         | Mn           | Mangan     | 54,938             |
| 26         | Fe           | Besi       | 55,845             |
| 27         | Co           | Kobal      | 58,9332            |
| 28         | Ni           | Nikel      | 58,6934            |
| 29         | Cu           | Tembaga    | 63,546             |
| 30         | Zn           | Zink       | 65,39              |
| 31         | Ga           | Galium     | 69,723             |
| 32         | Ge           | Germanium  | 72,64              |
| 33         | As           | Arsen      | 74,9216            |
| 34         | Se           | Selenium   | 78,96              |
| 35         | Br           | Bromin     | 79,904             |
| 36         | Kr           | Kripton    | 83,8               |
| 37         | Rb           | Rubidium   | 85,4678            |
| 38         | Sr           | Stronsium  | 87,62              |
| 39         | Y            | Itrium     | 88,9059            |
| 40         | Zr           | Zirkonium  | 91,2224            |
| 41         | Nb           | Niobium    | 92,9064            |
| 42         | Mo           | Molibdenum | 95,94              |
| 43         | Tc           | Teknesium  | 98                 |
| 44         | Ru           | Rutenium   | 101,07             |
| 45         | Rh           | Rodium     | 102,9055           |
| 46         | Pd           | Paladium   | 106,42             |
| 47         | Ag           | Perak      | 107,8682           |
| 48         | Cd           | Kadmium    | 112,411            |
| 49         | In           | Indium     | 114,818            |
| 50         | Sn           | Timah      | 118,71             |

Tabel A5.1.1 Bobot atom (lanjutan)

| Nomor atom | Simbol unsur | Unsur        | Bobot atom [g/mol] |
|------------|--------------|--------------|--------------------|
| 51         | Sb           | Antimon      | 121,76             |
| 52         | Te           | Telurium     | 127,6              |
| 53         | I            | Iodin        | 126,9045           |
| 54         | Xe           | Xenon        | 131,293            |
| 55         | Cs           | Sesium       | 132,9055           |
| 56         | Ba           | Barium       | 137,327            |
| 57         | La           | Lantanum     | 138,9055           |
| 58         | Ce           | Serium       | 140,116            |
| 59         | Pr           | Praseodimium | 140,9077           |
| 60         | Nd           | Neodimium    | 144,24             |
| 61         | Pm           | Prometium    | 145                |
| 62         | Sm           | Samarium     | 150,36             |
| 63         | Eu           | Europium     | 151,964            |
| 64         | Gd           | Gadolinium   | 157,25             |
| 65         | Tb           | Terbium      | 158,9253           |
| 66         | Dy           | Disprosium   | 162,5              |
| 67         | Ho           | Holmium      | 164,9303           |
| 68         | Er           | Erbium       | 167,259            |
| 69         | Tm           | Tulium       | 168,9342           |
| 70         | Yb           | Ytterbium    | 173,04             |
| 71         | Lu           | Lutetium     | 174,967            |
| 72         | Hf           | Hafnium      | 178,49             |
| 73         | Ta           | Tantalum     | 180,9479           |
| 74         | W            | Tungsten     | 183,84             |
| 75         | Re           | Renium       | 186,207            |
| 76         | Os           | Osmium       | 190,23             |
| 77         | Ir           | Iridium      | 192,217            |
| 78         | Pt           | Platinum     | 195,078            |
| 79         | Au           | Emas         | 196,9665           |

Tabel A5.1.1 Bobot atom (lanjutan)

| Nomor atom | Simbol unsur | Unsur        | Bobot atom [g/mol] |
|------------|--------------|--------------|--------------------|
| 80         | Hg           | Raksa        | 200,59             |
| 81         | Tl           | Talium       | 204,3833           |
| 82         | Pb           | Timbal       | 207,2              |
| 83         | Bi           | Bismut       | 208,9804           |
| 84         | Po           | Polonium     | 209                |
| 85         | At           | Astatin      | 210                |
| 86         | Rn           | Radon        | 222                |
| 87         | Fr           | Fransium     | 223                |
| 88         | Ra           | Radium       | 226                |
| 89         | Ac           | Aktinium     | 227                |
| 90         | Th           | Thorium      | 232,0381           |
| 91         | Pa           | Protaktinium | 231,0359           |
| 92         | U            | Uranium      | 238,0289           |
| 93         | Np           | Neptunium    | 237                |
| 94         | Pu           | Plutonium    | 244                |
| 95         | Am           | Americium    | 243                |
| 96         | Cm           | Curium       | 247                |
| 97         | Bk           | Berkelium    | 247                |
| 98         | Cf           | Californium  | 251                |
| 99         | Es           | Einsteinium  | 252                |
| 100        | Fm           | Fermium      | 257                |
| 101        | Md           | Mendelevium  | 258                |
| 102        | No           | Nobelium     | 259                |
| 103        | Lr           | Lawrensium   | 262                |

## **A6. Sifat Termodinamik**

### **A6.1 Sifat termodinamik bahan kimia dasar**

Pelepasan dan penyerapan kalor dengan reaksi kimia atau transisi fase, dan sejauh mana hasil reaksi kimia dapat diperoleh menggunakan termodinamik. Dalam bab ini disajikan sebagian data yang diperlukan untuk perhitungan ini. Informasi lebih lengkap dapat ditemukan di Chemical Handbook, sebuah buku karangan Ried dkk., Steam Table, Chemical Engineering Handbook dan lain-lain. Untuk perhitungan termodinamik, buku karangan Atkins, Komiiyama (dalam bahasa Jepang), Yamaguchi (dalam bahasa Jepang), dan buku teks lainnya dalam kimia fisika atau termodinamik kimia dapat dirujuk. Ada sebuah buku yang mengumpulkan data termodinamik bahan umum termasuk biomassa.

### **A6.2 Entalpi pembentukan standar, entropi standar, dan energi bebas pembentukan Gibbs standar**

Tabel A6.2.1 menunjukkan entalpi pembentukan standar, entropi standar, dan energi bebas pembentuk Gibbs standar untuk bahan kimia yang terkait dengan biomassa. "g", "l", dan "s," mewakili fase gas, cair, dan padat, masing-masing.

Tabel A6.2.1 Entalpi pembentukan standar, entropi standar, dan energi bebas pembentuk Gibbs standar untuk bahan kimia yang terkait dengan biomassa

| Bahan            | Rumus molekul                                 | Keadaan | Entalpi pembentukan standar<br>[kJ mol <sup>-1</sup> ] | Entropi standar<br>[J mol <sup>-1</sup> ] | Energi bebas pembentukan Gibbs standar<br>[kJ mol <sup>-1</sup> ] |
|------------------|---|---------|--|---|---|
| Karbon monoksida | CO  | g       | -110,53  | 197,67                                    | -137,17   |
| Etanol           | C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH              | l       | -277,1   | 159,86                                    | -173,9  |
| Etana            | C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>                 | g       | -83,8  | 229,60                                    | -31,9   |
| Etena (etilena)  | C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>                 | g       | 52,5   | 219,56                                    | 68,4  |
| Asam format      | HCOOH   | l       | -425,1   | 131,84                                    | -362,6  |
| Glukosa          | C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub> | s       | -1273,3  | N/A                                       | N/A   |
| Asam asetat      | CH <sub>3</sub> COOH                          | l       | -484,3   | 158,0                                     | -388,9  |
| Oksigen          | O <sub>2</sub>                                | g       | 0  | 205,14                                    | 0   |
| Hidrogen         | H <sub>2</sub>                                | g       | 0  | 130,68                                    | 0   |
| Karbon (grafit)  | C   | s       | 0  | 5,74                                      | 0   |
| Karbon dioksida  | CO <sub>2</sub>                               | g       | -393,51  | 213,74                                    | -394,36   |
| Propana          | C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>                 | g       | -104,7   | 270,02                                    | -24,2   |
| Air              | H <sub>2</sub> O                              | l       | -285,83  | 69,91                                     | -237,13   |
| Air              | H <sub>2</sub> O                              | g       | -241,82  | 188,83                                    | -228,57   |
| Metanol          | CH <sub>3</sub> OH                            | l       | -239,1   | 127,19                                    | -166,8  |
| Metana           | CH <sub>4</sub>                               | g       | -74,4  | 186,38                                    | -50,3   |

dari Chemistry Handbook (Kagaku Benran)

### A6.3 Perubahan entalpi transisi air, methanol, dan etanol

Tabel A6.3.1 menunjukkan perubahan entalpi transisi untuk air, metanol, dan etanol.

Tabel A6.3.1 Perubahan entalpi transisi untuk air, metanol, dan etanol.

|         | Transisi | Suhu transisi pada<br>$1,013 \times 10^5$ Pa [°C] | Perubahan entalpi<br>transisi [kJ/mol] |
|---------|----------|---|--|
| Air     | s → l    | 273,15  | 6,01                                   |
| Air     | l → g    | 373,15  | 40,66                                  |
| Metanol | l → g    | 337,9   | 35,27                                  |
| Etanol  | l → g    | 351,7   | 38,6                                   |

dari Chemistry Handbook (Kagaku Benran)

## A6.4 Perubahan entalpi pembakaran

Tabel A6.4.1 menunjukkan perubahan entalpi pembakaran sempurna untuk bahan-bahan kimia. Nilai-nilai ini adalah untuk kasus ketika cairan terbentuk, dan dengan mengubah tanda, nilai kalor yang lebih tinggi untuk bahan yang diperoleh. Nilai ini dapat dihitung dengan menggunakan data dalam Tabel A6.2.1.

Tabel A6.4.1 Perubahan entalpi pembakaran

| Bahan            | Keadaan | Entalpi pembakaran<br>[kJ mol <sup>-1</sup> ] | Bahan           | Keadaan | Entalpi pembakaran<br>[kJ mol <sup>-1</sup> ] |
|------------------|---------|---|-----------------|---------|---|
| Karbon monoksida | G       | -282,98                                       | Asam asetat     | l       | -874,3  |
| Etanol           | L       | -1367,6                                       | Hidrogen        | g       | -285,83                                       |
| Etana            | G       | -1560,7                                       | Karbon (grafit) | s       | -393,51                                       |
| Etena (etilena)  | G       | -1411,2                                       | Propana         | g       | -2219,2                                       |
| Asam format      | L       | -254,24                                       | Metanol         | l       | -725,7  |
| Glukosa          | S       | -2803,3                                       | Metana          | g       | -890,7  |

dari Chemistry Handbook (Kagaku Benran). Beberapa nilai dihitung oleh penulis.

## A7. Nilai Kalor Bahan Bakar Fosil dan Waktu Hidup

### A7.1 Nilai kalor bahan bakar fosil dan waktu hidup

Tabel A7.1.1 menunjukkan nilai kalor bahan bakar fosil dan waktu hidup.

Tabel A7.1.1 menunjukkan nilai kalor bahan bakar fosil dan waktu hidup.

|                                      | Petroleum | Baru bara | Gas alam |
|--------------------------------------|-----------|-----------|----------|
| Nilai kalor (perwakilan)*<br>[MJ/kg] | 40        | 28        | 56       |
| Rasio R/P [tahun]**                  | 46        | 219       | 64       |

\* Nilai ini merupakan perwakilan, dan nilai sebenarnya berbeda bergantung pada sisi produksi dan perlakuan. Nilai ini lebih tinggi dari nilai kalor yang lebih tinggi.

\*\* Rasio cadangan/produksi (reserve/production ratio)

## A8. Kerangka Kerja APEC

### A8.1 Apa itu APEC?

APEC (Asia-Pacific Economic Cooperation) merupakan forum yang bertujuan pada pengembangan yang berkelanjutan di wilayah Asia dan Pasifik, dan semua negara-negara utama dan kawasan yang bergabung. Dimulai pada konferensi menteri pada bulan November, 1989 (Canberra, Australia), dan telah menyelenggarakan konferensi tingkat tinggi sejak tahun 1993. Kegiatan utamanya adalah untuk liberisasi dan harmonisasi perdagangan dan investasi, serta kolaborasi ekonomi dan teknologi di wilayah ini.

Tabel A8.1.1 Negara-negara APEC

|                   |               |
|-------------------|---------------|
| Australia         | Russia        |
| Brunei Darussalam | Singapura*    |
| Kamboja           | Taipei, China |
| Kanada            | Thailand*     |
| Chili             | USA           |
| Hongkong, China   | Vietnam*      |
| Indonesia*        |               |
| Jepang            |               |
| Korea             |               |
| Laos              |               |
| Malaysia*         |               |
| Meksiko           |               |
| Selandia Baru     |               |
| Papua New Guinea  |               |
| Peru              |               |
| Filipina*         |               |
| R.R China         |               |

\*Negara-negara ASEAN

## A9. Target Setiap Negara

### A9.1 Target setiap negara untuk pengenalan biomassa

Tabel A9.1.1 menunjukkan target pengenalan biomassa untuk setiap negara.

Tabel A9.1.1 Target setiap negara

| Negara    | Target  |
|-----------|---|
| Kamboja   | Tidak ada target  |
| Indonesia | Pengembangan penanaman tanaman biofuel pada lahan yang tak digunakan seluas 5,25 M ha. Berdasarkan Road Map Pengembangan Biofuel, pemanfaatan biofuel (biodiesel, bioetanaol, biooil) akan dicanangkan sebesar 2% dari energi mix nasional 5,29 M kL pada 2010.   |
| Jepang    | Penggunaan termal pada biomassa: 3,08 M kL, produksi listrik dari biomassa dan limbah: 5,86 M kL ekuivalen minyak pada 2010.  |
| Korea     | Penggunaan termal pada biomassa: 0,679 juta kL, produksi listrik dari biomassa dan limbah: 0,367 juta kL ekuivalen minyak pada 2011.  |
| Laos      | Saat ini pemerintah merancang kebijakan dan target untuk biofuel khususnya biodiesel dari Jarak pagar untuk dicampur dengan diesel fosil menjadi B5 pada tahun 2012, B10 pada tahun 2015 dan B15 pada tahun 2020. Selain itu, untuk etanol E10 pada tahun 2015 dan E20 pada tahun 2020. Target ini masih dibawah rancangan dalam dokumen. |
| Malaysia  | Target pembangkit listrik dari energi terbarukan (termasuk biomassa) dicanangkan sebesar 350 MWe di Peninsular Malaysia dan 50MWe di Sabah.   |

Tabel A9.1.1 Target setiap negara (lanjutan)

| Negara        | Target   |
|---------------|--|
| Filipina      | <p>Dua tahun dari efektivitas undang-undang, setidaknya 5% bioetanol dari total volume bahan bakar gasoline terjual dan terdistribusikan oleh masing-masing perusahaan minyak dalam negeri. Dalam kurun empat tahun dari efektivitas undang-undang, Departemen Energi Filipina memberikan mandat mengenai minimum pencampuran 10% bergantung pada hasil kajian anggota dewan yang dirancang di bawah undang-undang. Tiga bulan setelah persetujuan undang-undang, minimum biodiesel 1%volume wajib dicampur ke dalam semua bahan bakar diesel yang dijual di dalam negeri. Dalam dua tahun dari efektivitas undang-undang, Departemen Energi Filipina memberikan mandat sebesar 2% pencampuran bergantung pada hasil kajian anggota dewan yang dirancang di bawah undang-undang. Telah terbukti bahwa pencampuran etanol dan biodiesel sesuai Standar Nasional Filipina.</p> |
| R.R. China    | <p>Persentase konsumsi energi terbarukan ditargetkan 10% pada 2010 dan 15% pada 2020. Pada 2010, konsumsi tahunan bahan bakar etanol berbasis non-grain mencapai 2 M ton, dan biodiesel mencapai 200,000 ton di China. Pada 2020, konsumsi tahunan bahan bakar etanol ditargetkan mencapai 10 M ton, dan biodiesel mencapai 2 M ton di China.</p>  |
| Taipei, China | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kapasitas listrik terpasang 741 MW dari biomassa dan limbah pada 2010</li> <li>2. Produksi biodiesel: 100 ribu KL pada 2010</li> <li>3. Produksi bioetanol: 100 ribu KL pada 2011.</li> </ol>  |

## A10. Sejarah Terkait

### A10.1 Sejarah yang berkaitan dengan biomassa

Tabel A10.1.1 menunjukkan sejarah saat ini yang berkaitan dengan biomassa Asia

Tabel A10.1.1 Time table biomassa Asia

|         |  |
|---------|--|
| 2005.1  | 1 <sup>st</sup> Biomassa Asia Workshop (Tokyo dan Tsukuba) |
| 2005.12 | 2 <sup>nd</sup> Biomass Asia Workshop (Bangkok)            |
| 2006.1  | Biomass Asia Forum (Tokyo)                                 |
| 2006.11 | 3 <sup>rd</sup> Biomass Asia Worksop (Tokyo dan Tsukuba)   |
| 2007.3  | Stratup of Asia Biomass Association                        |
| 2007.4  | Laos joins Asia Biomass Association                        |
| 2007.11 | 4 <sup>th</sup> Biomass Asia Workshop (Shar Alam)          |

## A11. Bahasa Setiap Negara

### A11.1 Bahasa dan ucapan selamat setiap negara

Tabel A11.1.1 menunjukkan bahasa dan ucapan selamat dari masing-masing negara

Tabel A11.1.1 Bahasa dan ucapan selamat di setiap negara

| Negara            | Bahasa                            | Ucapan selamat                       |
|-------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| Brunei Darussalam | Malay                             | Selamat pagi/petang                  |
| Kamboja           | Khmer                             | Arun suo sdei/<br>Tiveah sour sdei   |
| Indonesia         | Bahasa Indonesia                  | Selamat pagi/siang                   |
| Jepang            | Japanese                          | Ohayo/Kon'nichiwa                    |
| Korea             | Korean                            | Annyunghaseyo/<br>Annyunghashimnikka |
| Laos              | Lao                               | Sabaidee                             |
| Malaysia          | Bahasa Melayu                     | Selamat pagi/petang                  |
| Filipina          | Filipino, English                 | Magandang umaga                      |
| R.R China         | Chinese                           | Nihao                                |
| Singapura         | Mandarin, English, Malay, Hokkien | Nihao                                |
| Taipei, China     | Chinese, Taiwanese                | Nihao                                |
| Thailand          | Thai                              | Sawatdee                             |
| Vietnam           | Vietnamese                        | Xin chao                             |

## **A12. Buku Terkait**

### **A12.1 Buku dalam Bahasa Inggris**

Knoef, H. Ed., "Handbook Biomass Gasification", BTG Biomass Technology Group (2005)

Van Loo, S. and Koppejan, J. Eds., "Handbook of Biomass Combustion and Co-Firing", Twente University Press (2002)

Klass, D. L., "Biomass for Renewable Energy, Fuels, and Chemicals," Academic Press (1998)

Boyle, G. Ed., "Renewable Energy Power for a Sustainable Future," Oxford University Press (1996)

Wyman, C. E. Ed., "Handbook on Bioethanol: Production and Utilization", Taylor & Francis (1996)

Kitani, O. and Hall, C. W. Eds., "Biomass Handbook", Gordon and Breach Science (1989)

E. S. Domalski, T. L. Jobe, Jr., T. A. Milne, Eds., "Thermodynamic data for biomass materials and waste components", American Society of Mechanical Engineers (1987)

## A12.2 Buku di Jepang (dalam Bahasa Jepang)

- 日本エネルギー学会「バイオマス用語事典」 オーム社 (2006)
- 坂志朗「バイオディーゼルのすべて」 アイピーシー (2005)
- 木谷収「バイオマスー生物資源と環境」 コロナ社 (2004)
- 小宮山宏ら編著「バイオマス・ニッポンー日本再生に向けて」 日刊工業新聞社 (2003)
- 日本エネルギー学会「バイオマスハンドブック」 オーム社 (2002)
- 湯川英明編「バイオマスー究極の代替エネルギー」 化学工業日報社 (2002)
- 横山伸也「持続社会へむけて バイオエネルギー最前線」 森北出版 (2001)
- 坂志朗編著「バイオマス・エネルギー・環境」 アイピーシー (2001)
- 山地憲治、山本博巳、藤野純一「バイオエネルギー」 ミオシン出版 (2000)
- 坂井正康「バイオマスが拓く 21世紀エネルギー 地球温暖化の元凶 CO2 排出はゼロにできる」 森北出版 (1998)
- 本多淳裕「バイオマスエネルギー：生物系資源・廃棄物の有効利用」 省エネルギーセンター (1986)
- 鈴木周一編「バイオマスエネルギー変換」 講談社 (1983)
- M.スレッサー, C.レウイス著；須之部淑男, 増川重彦訳「バイオマス：生物エネルギー資源」 共立出版 (1982)
- 山沢新吾編「バイオマスエネルギー」 朝倉書店 (1982)
- 柴田和雄, 木谷収編「バイオマス：生産と変換」 上, 下, 学会出版センター (1981)

## **A12.2 Buku di China (dalam Bahasa China)**

日本能源学会編、史仲平、華兆哲訳「生物質和生物能源手冊」化学工業出版社（2007）

小宮山宏他編著、李大寅、蔣偉忠訳「日本生物質総合戦略」中国環境化学出版社（2003）

中国農村能源年鑑編集委員会編「中国農村能源年鑑 1997」中国農業出版社（1997）