

Buku Pedoman Energi Efisiensi untuk Desain Bangunan Gedung di Indonesia



2 Pedoman Teknis Desain



Buku Pedoman Energi Efisiensi

untuk Desain Bangunan Gedung di Indonesia

2 Pedoman Teknis Desain

Edisi Pertama 2012

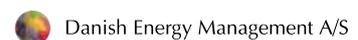
Buku Pedoman Energi Efisiensi untuk Desain Bangunan Gedung di Indonesia

2 Pedoman Teknis Desain

Edisi Pertama 2012



MINISTRY OF FOREIGN AFFAIRS OF DENMARK
DANIDA | INTERNATIONAL
DEVELOPMENT COOPERATION



Penulis:

- Billy Gunawan, ASHRAE Indonesia Chapter, PT. GLWCA
- Budihardjo, Departemen Teknik Mesin, Universitas Indonesia
- Jimmy S. Juwana, Lembaga Pengembangan Jasa Konstruksi Nasional (LPJKN)
- Jimmy Priatman, Universitas Petra Surabaya, Archi Metric, Surabaya
- Wahyu Sujatmiko, Kementerian Pekerjaan Umum, Kandidat PhD di Institut Teknologi Bandung
- Totok Sulistiyanto, Konsultan Teknik Mesin, Listrik, dan Energi, (EINCOPS) - koordinator tim editor

Ucapan Terima Kasih:

- Ibu Maryam Ayuni yang telah memberikan dukungan bagi dokumen ini atas nama Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Indonesia.
- Jesper Vauvert dari Danish Energy Management A/S yang telah menjadi ketua tim ESP2 component 2 (EINCOPS) untuk proyek ini dan memberikan komentar pada versi akhir buku pedoman ini.
- Mogens Krighaar dari Danish Energy Management A/S yang telah menjadi ketua tim ESP2 component 2 (EINCOPS) proyek ini.
- Floris Van der Walt yang telah menyiapkan daftar isi serta memeriksa hasil kerja para penulis.
- Kirsten Mariager yang telah memeriksa dan memberikan komentar selama penyusunan buku pedoman ini.
- Totok Sulistiyanto yang telah memimpin kelompok penulis buku pedoman ini.
- Lestari Suryandari dan Yodi Danusastro dari GBCI, yang telah menyiapkan data untuk Studi Kasus.
- Billy Gunawan yang telah menulis sebagian besar Bab 6 pada Bagian 1 dan Bab 6 dan 8 pada Bagian 2, Budihardjo yang telah menulis Bab 3 pada Bagian 1 dan Bab 5 dan 9 pada Bagian 2, Jimmy S. Juwana yang telah menulis sebagian besar Bab 1, 2, 5, 8 pada Bagian 1 dan Bab 2, 7, 9 pada Bagian 2, Jimmy Priatman yang telah menulis sebagian besar Bab 7 pada Bagian 1 dan Bab 3, 4 6 pada Bagian 2, serta seluruh penulis yang telah memberikan komentar pada bab-bab lain. Jatmika Adi Suryabrata, Herman Endro, M. Idrus Alhamid, Ignieszj Kemalawarta, dan Rana Yusuf Nasir yang telah menjadi panelis ahli yang telah berbagi ide, keahlian, serta pemahaman teori efisiensi energi dalam bidang masing-masing.
- Wahyu Sujatmiko yang telah menyiapkan lampiran laporan iklim.
- Sinarmas Land Plaza, ITSB Deltamas, Kementerian Pekerjaan Umum, PT. Dahana, and BCA Tower Grand Indonesia yang telah memberikan materi untuk Studi Kasus.
- Steven Ellis (EINCOPS) yang telah memeriksa versi Bahasa Inggris.
- Ivan Ismed (EINCOPS) yang telah memeriksa terjemahan ke dalam Bahasa Indonesia.

Satuan Tugas (*Task Force*) sebagai wakil pemangku kepentingan, yang telah memeriksa Buku Pedoman ini selama proses penyusunan. Berikut adalah anggota-anggota dari Satuan Tugas ini:

Jatmika Adi Suryabrata, Departemen Arsitektur, Fakultas Teknik, UGM, Yogyakarta; Herman Endro, HTII – ALKI (Asosiasi Industri Lumener dan Kelistrikan Indonesia); M. Idrus Alhamid, Departemen Teknik Mesin, Universitas Indonesia; Ignieszj Kemalawarta, Sinarmas Land - BSD City; Rana Yusuf Nasir, GBCI - Direktur Teknologi dan Rating; Jimmy S. Juwana, LPJKN - Lembaga Pengembangan Jasa Konstruksi Nasional (LPJKN); Jesper Vauvert - Danish Energy Management A/S; Totok Sulistiyanto - (EINCOPS); Floris Van Der Walt - Stategic Environmental Focus S. A. ; Kirsten Mariager - Danish Energy Mangement A/S; Mogens Krighaar - Danish Energy Mangement A/S.

Tim untuk proyek ini: **Energy Efficiency in Industrial, Commercial and Public Sector (EINCOPS)** dan staf **Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Indonesia** telah memberikan dukungan dan dorongan penuh dalam penyusunan dokumen ini. DANIDA telah mendanai proyek ini. (kontrak no.: 104.INDO.1.MFS.4).

Komentar dan perbaikan dapat dikirim kepada:

Direktorat Konservasi Energi, Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Indonesia. Annex Building Lt. 5, Jl. H. R. Rasuna Said Blok X-2, Kav 07-08. Kuningan, Jakarta 12950. Tel: +62 21 5225180 ext. 2514, Tel/Fax: +62 21 5224483, email: harrisyh@yahoo.com atau rahadian.arafat@gmail.com, website: www.konservasienergiindonesia.info

atau kepada koordinator tim editor:

Totok Sulistiyanto email: totok.sulis@cbn.net.id

Edisi Pertama diterbitkan oleh Energy Efficiency and Conservation Clearing House Indonesia di bawah Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Indonesia

© Energy Efficiency and Conservation Clearing House Indonesia, Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Indonesia, Danish Energy Management A/S, dan seluruh penulis. All rights reserved, 2012

ISBN: 978-602-17264-0-2 (no.jil.lengkap)
978-602-17264-2-6 (jil.2)

Desain Grafis dan Produksi: Kira Kariakin, Danish Energy Management A/S
Box Breaker.

Fotografi: ©istockphoto.com (content); GBCI (cover)

Dicetak di Jakarta, Indonesia

Prakata

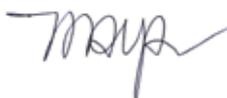
Buku Pedoman Efisiensi Energi untuk Desain Bangunan Gedung di Indonesia merupakan output dari program Efisiensi Energi di Sektor Industri, Komersial, dan Publik (EINCOPS/*Energy Efficiency in Industrial, Commercial and Public Sector*). Program ini didukung oleh Pemerintahan Denmark kepada Pemerintahan Indonesia dalam bidang Efisiensi Energi melalui program pendanaan yang disebut dengan *Danish International Development Assistance – Environmental Support Programme II (DANIDA – ESP II)*, Component 2. Tujuan dari aktivitas EINCOPS ini adalah untuk mempromosikan program efisiensi energi di seluruh Indonesia melalui berbagai aktivitas, yang sejalan dengan upaya pengurangan dampak perubahan iklim.

Buku Pedoman Efisiensi Energi ini menyajikan gambaran umum yang menyeluruh, saran dan referensi yang mutakhir, serta panduan praktis yang ditujukan kepada pemilik/pengembang bangunan. Buku pedoman ini berisi cara-cara mendesain bangunan untuk meminimalisasi penggunaan energi dan pada saat yang bersamaan masih memenuhi kebutuhan kenyamanan, kesehatan, dan keamanan di dalam bangunan.

Program efisiensi dan konservasi energi di tingkat nasional bertujuan untuk mengurangi subsidi energi, kesenjangan antara persediaan dan permintaan energi, emisi gas rumah kaca yang mempengaruhi pemanasan global dan perubahan iklim, serta meningkatkan daya saing nasional. Konservasi energi harus menjadi bagian dari seluruh tahap manajemen energi, mulai dari energi berkelanjutan di sisi hulu (eksplorasi, eksploitasi, pengilangan, tenaga listrik, dan lain-lain) hingga penggunaan energi di sisi hilir pada seluruh sektor seperti yang ditetapkan dalam UU No. 30/2007 tentang Energi dan Peraturan Pemerintah No. 70/2009 yang mengatur pelaksanaan konservasi energi. Pada saat ini, persentase konsumsi energi nasional dalam sektor komersial dan bangunan hanya sekitar 4% (industri 39,4%; transportasi 32,2%; penggunaan non-energi 10,5%; rumah tangga 10,2%; lain-lain 3,4%), tapi dalam 20 tahun terakhir pertumbuhan konsumsi energi dalam sektor komersial dan bangunan mencapai persentase tertinggi pada 8,58% (industri 5,1%; transportasi 6,4%; penggunaan non-energi 5,4%; rumah tangga 3,1%, lain-lain 0,03%).

Buku Pedoman Efisiensi Energi terbagi dalam tiga bagian: 1) untuk pemilik, pengembang, dan investor bangunan; 2) untuk desainer profesional; dan 3) studi kasus efisiensi energi. Buku 1 dapat digunakan oleh pemilik, pengembang, dan investor bangunan untuk memandu tim pengembangan proyek dalam mempertimbangkan analisis biaya untuk memastikan konsumsi energi yang rendah, dan pada saat yang bersamaan berusaha mencapai konsep desain yang lebih baik dan membangun secara lebih efisien dengan cara-cara yang lebih ramah lingkungan. Buku 2 ditujukan untuk para desainer profesional, arsitek, dan insinyur di bidang mekanikal, elektrikal, struktur, dan lansekap untuk memandu desain mereka agar memaksimalkan pencapaian efisiensi energi baik untuk membangun bangunan baru maupun me-retrofit bangunan yang sudah ada. Sebagai panduan tambahan, Buku 2 juga berisikan pedoman teknis yang komprehensif yang dapat digunakan sebagai persiapan untuk pengembangan standar (SNI) dan kode untuk bangunan di masa depan. Standar-standar serta kode-kode ini akan menjadi dasar acuan mendesain bangunan dengan mempertimbangkan masalah biaya, efisiensi, lingkungan, serta kesehatan.

Akhir kata, kami menyampaikan rasa terima kasih kepada para penulis, tim ahli, pemangku kepentingan, dan semua pihak yang terlibat dalam persiapan dan pengembangan Buku Pedoman Energi Efisiensi untuk Desain Bangunan Gedung di Indonesia.



Maryam Ayuni

Direktor Konservasi Energi

Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral

Daftar Isi

Prakata	5
1. Pendahuluan	11
1.1 Latar Belakang	11
1.2 Gambaran Umum	11
1.2.1 Tujuan Buku Pedoman	11
1.2.2 Untuk Siapa Buku Pedoman ini Ditujukan?	12
1.2.3 Struktur Buku Pedoman	13
1.2.4 Klasifikasi Bangunan	13
1.2.5 Standar, Kode, dan Regulasi	14
2. Motivasi untuk Pengembang dan Pemilik Bangunan	15
2.1 Prinsip-Prinsip Dasar	16
2.2 Manfaat	17
2.3 Kendala	17
2.4 <i>Brief</i> Desain	18
2.5 Proses Desain Terintegrasi	19
2.6 Cara Meyakinkan Pengembang Bangunan Gedung Anda	20
2.7 Argumen Pro dan Kontra untuk Efisiensi Energi	20
3. Iklim Indonesia	21
3.1 Iklim Indonesia	21
3.2 Pola Iklim	21
3.3 Unsur-unsur Iklim	21
3.3.1 Data Meteorologis	21
3.3.2 Suhu	22
3.3.3 Kelembaban	22
3.3.4 Radiasi Matahari	22
3.3.5 Angin	23
3.3.6 Curah Hujan	23
3.3.7 Kondisi “Desain Hari”	24
3.4 Zona Iklim	24
4. Tingkat Kenyamanan Manusia & Lingkungan dalam Bangunan Gedung	25
4.1 Kenyamanan Termal	25
4.2 Penimbunan CO ₂	27

4.3 Akses ke Cahaya Alami	27
4.4 Ventilasi	28
5. Prinsip-prinsip Desain Pasif Surya – Iklim Panas dan Lembab (panduan desain)	30
5.1 Pertimbangan Iklim	30
5.2 Pertimbangan Lokasi	31
5.2.1 Iklim Mikro	31
5.3 Bentuk dan Orientasi Bangunan Gedung	31
5.4 Cahaya Alami	32
5.5 Pemanasan dan Pendinginan Pasif	32
5.5.1 Konsep Pemanasan Pasif	33
5.5.2 Konsep Pendinginan Pasif	33
5.6 Kelembaban dan Ventilasi Alami	33
5.7 Lingkungan Pembangunan dan Pemandangan	35
6. Selubung Bangunan Gedung- Bangunan Gedung Baru dan Lama	36
6.1 Sifat Bahan	37
6.1.1 Komponen Pemindahan Panas	37
6.1.2 Sifat Termal dari Bahan	37
6.2 Kategori Selubung	37
6.2.1 Dinding	38
6.2.2 Atap	38
6.2.3 Pembukaan Celah	39
6.2.4 Ventilasi	39
6.2.5 Akses	39
6.2.6 Cahaya Alami	39
6.2.7 Kaca	39
6.2.8 Peneduh	40
6.2.9 Kecedapan Udara	40
7. Simulasi Performansi Energi – Bangunan Gedung Baru dan Lama	41
7.1 Elemen-elemen Simulasi (<i>Computer modeling</i>)	41
7.1.1 Data Lokasi dan Cuaca	41
7.1.2 Data Pembangunan Gedung	42
7.1.3 Hunian dan Peralatan	42
7.1.4 Simulasi	42
7.1.5 Hasil Laporan	42
7.1.6 Analisis	43
7.2 Tahap Desain Awal	43
7.2.1 Metode Perhitungan	43

7.2.2 Alat Simulasi	43
7.3 Tahap Desain Terinci	43
7.3.1 Metode Perhitungan	43
7.3.2 Alat Simulasi	44
7.4 Verifikasi Performansi	44
7.5 <i>Parametric Modeling</i>	44
8. Sistem Bangunan Gedung – Bangunan Gedung Lama dan Baru	45
8.1 Pencahayaan Artifisial (Listrik)	45
8.1.1 Integrasi dengan Cahaya Alami	47
8.1.2 Sumber-sumber Cahaya	47
8.1.3 Pemeliharaan	47
8.1.4 Pembersihan Unit Cahaya (<i>luminaire</i>)	48
8.1.5 Penggantian Lampu Secara Berkelompok	48
8.1.6 Alat Kontrol Cahaya	48
8.1.7 Saklar	48
8.1.8 Peredup Manual	49
8.1.9 Sensor Okupansi	49
8.1.10 Alat Pengatur Waktu	49
8.1.11 Alat Kontrol Foto-Elektrik dan Sensor <i>Lux</i>	49
8.1.12 Sistem Manajemen Energi (SME).	49
8.1.13 Standar Nasional	49
8.1.14 Perilaku Manusia	49
8.1.15 Langkah-langkah Efisiensi Energi tanpa Biaya, Biaya Rendah, dan Biaya Tinggi	50
8.2 HVAC	50
8.2.1 Isu Kebesaran Kapasitas/Ukuran	51
8.2.2 Subsistem	52
8.2.3 Standar Nasional	57
8.2.4 Langkah-langkah Bebas Biaya, Biaya Rendah, dan Biaya Tinggi untuk Bangunan Gedung yang telah ada	57
8.2.5 Teknologi Baru	58
8.3 Boiler	59
8.3.1 Efisiensi Boiler	59
8.3.2 Distribusi Uap dan Air Panas	56
8.3.3 Memanfaatkan Panas Buang	60
8.3.4 Strategi Efisiensi Energi untuk Boiler	62
8.3.5 Langkah-langkah Efisiensi Energi tanpa Biaya, Biaya Rendah, dan Biaya Tinggi untuk Bangunan Gedung yang Telah Ada	63

8.4 Sistem Transportasi Gedung	64
8.4.1 Jalan Menuju Efisiensi Lebih Tinggi	65
8.4.2 Langkah-langkah Efisiensi Energi tanpa Biaya, Biaya Rendah, dan Biaya Tinggi untuk Bangunan Gedung yang Telah Ada	65
8.5 Sistem Elektrikal	65
8.5.1 Langkah-langkah Efisiensi Energi tanpa Biaya, Biaya Rendah, dan Biaya Tinggi untuk Bangunan Gedung yang Telah Ada	66
8.6 Sistem Kebakaran dan Keselamatan	66
8.6.1 Pertimbangan Efisiensi Energi untuk Sistem Kebakaran dan Keselamatan	66
8.7 Sistem Data & Keamanan	67
8.7.1 Pertimbangan EE untuk Sistem Data dan Keamanan	67
8.8 Air	67
8.8.1 Pengaruh Air dan Pendaaran Ulang Terhadap Efisiensi Energi	67
8.8.2 Servis Pemanas Air	68
8.8.3 Pendaaran Ulang dan Penggunaan Ulang Air	68
8.8.4 Memanen Air Hujan	69
8.8.5 Sistem Distribusi	69
8.8.6 Langkah-langkah Efisiensi Energi tanpa Biaya, Biaya Rendah, dan Biaya Tinggi untuk Bangunan Gedung yang Telah Ada	69
8.9 Sistem Manajemen Energi Bangunan Gedung	69
8.9.1 Ragam SMEBG dan SMBG, dan Tingkat Pengawasan dan Pengaturan	69
8.9.2 Apa yang Dapat Dilakukan oleh SMEBG?	70
8.9.3 Meteran Sederhana	71
8.9.4 Sistem SMEBG Total	71
8.9.5 Kesulitan Umum dari SMEBG	72
8.9.6 Perencanaan untuk Pemonitoran dan Pengauditan Energi	72
9. Menuju Bangunan Gedung Energi Netto Nol	73
9.1 Sumber Energi Terbarukan (Informasi)	73
9.1.1 Sistem Tenaga Matahari	73
9.1.2 Sistem Tenaga Angin	73
9.1.3 Sistem Tenaga Air	74
9.1.4 Sistem Geotermal	74
9.1.5 Sistem Biomassa	74
9.1.6 Sistem Gas Nabati	74
9.2 Sumber Energi Alternatif	74
9.2.1 Sistem Berdasarkan Gas / Bahan Bakar	74
9.2.2 Sistem Pembangkitan Energi Kembali (<i>Energy Recovery</i>)	75

10. Proses Procurement dan Konstruksi	76
10.1 Perolehan	76
10.1.1 Sistem Pemerolehan Proyek Pembangunan	77
10.1.2 Spesifikasi	77
10.1.3 Dokumen Tender	78
10.2 Proses Pembangunan	79
10.2.1 Konsep	79
10.2.2 Dokumentasi Pembangunan	80
10.2.3 Spesifikasi Kontrak	81
10.2.4 Dokumen AIA A201, Syarat-syarat Umum Kontrak Pembangunan	82
10.2.5 Penawaran (<i>Bidding</i>)	82
10.2.6 Pengawasan Tempat	83
10.2.7 Pembangunan (Kerja Lapangan)	83
10.3 Pengawasan & Penyerahan (Kontraktor)	85
10.3.1 Penyelesaian	85
10.3.2 Evaluasi Pasca Pembangunan	85
10.4 Jaminan Kualitas	86
11. Aspek-aspek Khusus pada Beberapa Jenis Bangunan Gedung untuk Mendukung Penghematan Energi	88
11.1 Bangunan Gedung Kantor	88
11.2 Rumah Sakit	88
11.3 Gedung Komersial (Mal, Pusat Perbelanjaan)	88
11.4 Hotel	89
11.5 Apartemen	89
11.6 Gedung Pendidikan	89
12. Kesimpulan	90
13. Referensi	91



1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Program “Efisiensi Energi (EE) di Sektor Industri, Komersial, dan Publik” (*Energy Efficiency in Industrial, Commercial, and Public Sectors/ EINCOPS*) merupakan hasil kerja sama antara Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Indonesia dengan DANIDA (*Danish International Development Assistance/Bantuan Pembangunan Internasional Denmark*), yang dimulai pada tahun 2008 untuk mendukung kebijakan pemerintahan Indonesia dalam mencapai tujuan berikut:

“Langkah-langkah efisiensi energi mulai diadopsi secara berangsur-angsur oleh pengguna energi di sektor industri, komersial, dan publik dimulai dari kelas yang besar.” Cara ini ditempuh agar dapat mencapai tujuan pembangunan dalam rangka mendukung “Manajemen Lingkungan Berkelanjutan untuk Kebutuhan Penghidupan di Indonesia.”

Salah satu aktivitas dalam proyek ini adalah menyusun Buku Pedoman Efisiensi Energi untuk Desain Bangunan Gedung di Indonesia. Hal ini dilakukan melalui proses konsultasi dengan para pemangku kepentingan utama serta pihak-pihak yang berkompeten, yang terdiri dari ahli-ahli bangunan dari berbagai disiplin yang relevan melalui diskusi panel dan *workshop*.

Buku pedoman ini diharapkan akan selalu direvisi secara berkala pada tahun-tahun mendatang untuk memastikan kemutakhiran, sesuai dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan regulasi di sektor bangunan. Buku pedoman ini dan revisi-

revisi berikutnya akan tersedia dalam bentuk PDF di situs web *Energy Efficiency and Conservation Clearing House Indonesia (EECCHI)* di alamat <http://www.konservasienergiindonesia.info>.

1.2 Gambaran Umum

Buku Pedoman Efisiensi Energi untuk Desain Bangunan Gedung di Indonesia ini disusun untuk menyediakan informasi mengenai desain bangunan hemat energi di Indonesia berdasarkan pengalaman dan metode internasional yang disesuaikan dengan kondisi iklim fisik, sosial, dan ekonomi di Indonesia. Tujuan dari penyusunan Buku Pedoman ini adalah untuk menginformasikan serta menyediakan panduan-panduan praktis dan teknis mengenai cara-cara mengembangkan, mendesain, mengoperasikan, dan memelihara bangunan yang hemat energi. Buku Pedoman ini secara spesifik ditargetkan untuk dimanfaatkan oleh para pemain kunci yang berperan dalam pengembangan berbagai bangunan: pertama, pemilik/pengembang bangunan sebagai penggerak dan pengambil keputusan dalam proyek; dan kedua, konsultan sebagai desainer dan pelaksana ide-ide pengembangan konsep bangunan.

1.2.1 Tujuan Penyusunan Buku Pedoman

Tujuan dari penyusunan Buku Pedoman ini adalah menginformasikan, mendidik, membantu, dan menciptakan kesadaran mengenai segala isu yang berhubungan dengan desain bangunan hemat energi baik bagi para pemilik/pengembang bangunan, maupun konsultan, desainer, dan *specifier* dalam proyek gedung.

Buku Pedoman Efisiensi Energi untuk Desain Bangunan Gedung di Indonesia ini disusun untuk menyediakan informasi mengenai desain bangunan hemat energi di Indonesia berdasarkan pengalaman dan metode internasional yang disesuaikan dengan kondisi iklim fisik, sosial, dan ekonomi di Indonesia.



Gambar 1. Struktur Buku Pedoman

Selain itu, Buku Pedoman ini juga diharapkan dapat membuat seluruh pihak yang terlibat dalam proses pendirian bangunan sadar akan tanggung jawab dan dampak potensial dari tingkat efisiensi energi suatu bangunan, baik dalam tahap desain maupun konstruksi.

Pemilik dan pengembang bangunan dapat menggunakan panduan-panduan yang terdapat dalam Buku Pedoman untuk menambah informasi mengenai isu-isu, keuntungan, serta kendala yang berhubungan dengan desain hemat energi, serta untuk memastikan bahwa mereka dapat menginstruksikan kepada tim proyeknya untuk mendesain bangunan hemat energi.

Tim konsultan dapat menggunakan Buku Pedoman ini sebagai materi inspirasi dan edukasi untuk meyakinkan klien mereka akan manfaat dan pentingnya desain hemat energi serta sebagai sumber referensi untuk isu-isu dan pengetahuan yang diperlukan dalam mendesain bangunan hemat energi. Oleh karena itu, Buku Pedoman ini dapat digunakan untuk memastikan, memahami, dan berpartisipasi dalam diskusi dengan desainer dan/atau konsultan teknik untuk mencapai bangunan hemat energi, baik untuk konstruksi baru maupun untuk *me-retrofit* gedung.

Terakhir, Buku Pedoman ini bertujuan untuk memastikan seluruh pihak yang berperan dalam desain dan konstruksi bangunan maupun *retrofit* bangunan yang sudah berdiri dapat memiliki pemahaman dan sudut pandang yang sama akan efisiensi energi.

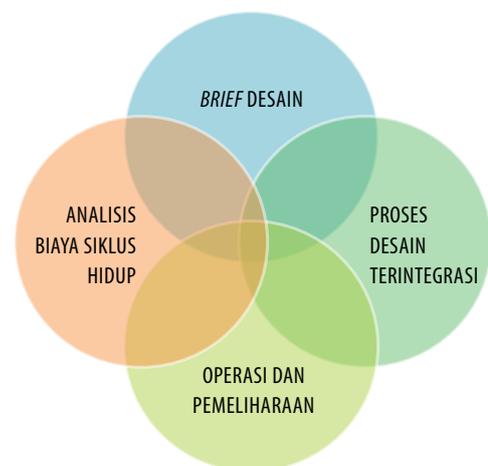
1.2.2 Untuk Siapa Buku Pedoman ini Ditujukan?

Buku Pedoman ini terdiri dari tiga (3) bagian: Bagian pertama ditujukan untuk para pemilik/pengembang bangunan dan operator dan difokuskan pada kebijakan dan informasi umum

mengenai biaya dan keuntungan (*cost-benefit*) dari bangunan hemat energi. Pada bagian ini juga terdapat rangkuman dari aspek-aspek utama yang mempengaruhi desain bangunan hemat energi. Tujuan dari bagian ini adalah untuk memandu pemilik dan pengembang bangunan dalam mengambil suatu keputusan yang tepat, terutama yang berkaitan dengan manfaat dari implementasi bangunan yang hemat energi.

Bagian kedua, ditujukan untuk para profesional, desainer dan *specifier*, memberikan informasi teknis yang lebih rinci mengenai prosedur desain untuk mencapai efisiensi energi yang optimal dalam bangunan sehingga akan mempengaruhi modal dan biaya operasional secara postif.

Bagian ketiga ditujukan untuk seluruh pihak yang terlibat dalam proyek sehingga dapat memahami implikasi dari desain efisiensi energi melalui contoh-contoh nyata. Studi kasus yang ditampilkan di sini bertujuan untuk memotivasi dan menginspirasi baik pemilik/pengembang bangunan maupun tim konsultan untuk mencapai konservasi energi yang optimal melalui desain yang efektif.



Gambar 2. Empat Aspek Utama dalam Desain Hemat Energi yang Dikontrol oleh Pengembang.

Pemilik dan pengembang bangunan dapat menggunakan panduan-panduan yang terdapat dalam Buku Pedoman untuk menambah informasi mengenai isu-isu, keuntungan, serta kendala yang berhubungan dengan desain hemat energi, serta untuk memastikan bahwa mereka dapat menginstruksikan kepada tim proyeknya untuk mendesain bangunan hemat energi.

1.2.3 Struktur Buku Pedoman

Bagian 1. Efisiensi Energi untuk Pengembang dan Pemilik Bangunan

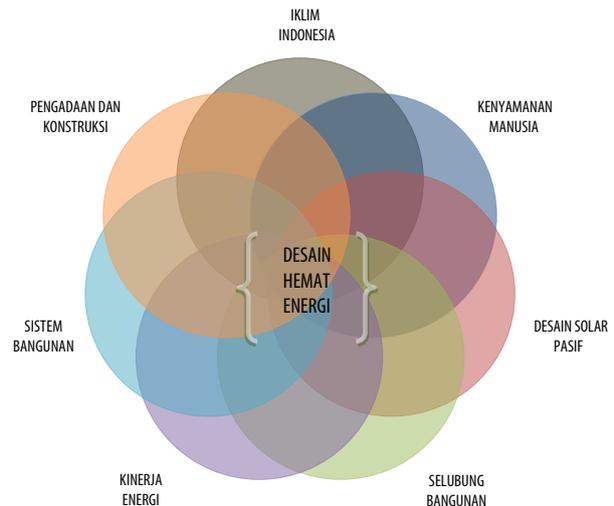
Bagian 1 khusus ditujukan untuk pemilik dan pengembang bangunan dalam rangka memandu mereka untuk mempertimbangkan:

- Pentingnya menyusun *brief* desain yang layak dan komprehensif untuk memandu tim proyek dalam mendirikan bangunan yang paling hemat energi dengan menggunakan anggaran yang tersedia.
- Pentingnya implementasi Proses Desain Terintegrasi (*Integrated Design Process*) untuk memastikan optimalisasi efisiensi energi melalui kolaborasi desain yang efektif.
- Dampak investasi modal dan biaya berjalan suatu proyek dan hubungannya dengan biaya siklus hidup keseluruhan suatu proyek (jangka panjang).
- Pentingnya pemeliharaan serta manajemen bangunan hemat energi yang layak sehingga operasinya tetap dijalankan sesuai parameter desain yang ada.

Bagian 2. Panduan Desain Teknis Efisiensi Energi

Bagian 2 terdiri dari panduan praktis dan strategi desain untuk mencapai desain bangunan yang hemat energi dengan fokus spesifik untuk membantu tim desain memahami prinsip serta pengaruh dari:

- Pentingnya pemahaman akan dampak iklim pada strategi desain yang hemat energi.
- Pentingnya pengaruh kenyamanan manusia dan lingkungan dalam ruangan yang nyaman untuk mencapai efisiensi energi yang maksimal.
- Pentingnya aplikasi prinsip desain pasif surya dasar dalam mengoptimalkan desain untuk efisiensi energi yang maksimal.
- Pentingnya peran desain selubung bangunan yang efektif bagi efisiensi energi keseluruhan bangunan.
- Pemahaman akan kinerja bangunan melalui berbagai jenis simulasi dan *modeling*.
- Dampak sistem bangunan terhadap efisiensi energi bangunan serta



Gambar 3. Tujuh Aspek Utama dalam Desain Hemat Energi yang Dikontrol oleh Tim Desain.

bagaimana integrasi sistem dapat menghasilkan keuntungan utama dari sudut pandang efisiensi energi.

- Terakhir, pentingnya memastikan implementasi desain yang sebaik mungkin melalui proses pengadaan yang efektif, kontrol kualitas, serta pengujian, pengukuran, dan verifikasi parameter pada bangunan yang sudah didirikan.

1.2.4 Klasifikasi Bangunan

Berdasarkan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2002 tentang Bangunan Gedung, fungsi bangunan diklasifikasikan ke dalam lima kelompok. Selain itu, menurut Peraturan Pemerintah Nomor 36 Tahun 2005 tentang Peraturan Pelaksanaan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2002 tentang Bangunan Gedung, setiap fungsi bangunan diklasifikasikan sebagai berikut:

- hunian**, sebagai tempat tinggal manusia, yang meliputi rumah tinggal tunggal, rumah tinggal deret, rumah tinggal susun, atau rumah tinggal sementara.
- keagamaan**, sebagai tempat melakukan ibadah, yang meliputi masjid, gereja, biara, sinagoga, dan kuil.
- usaha**, sebagai tempat melakukan kegiatan usaha, yang meliputi bangunan perkantoran, perdagangan, perindustrian, perhotelan, wisata dan rekreasi, terminal, dan bangunan tempat penyimpanan.
- sosial dan budaya**, sebagai tempat melakukan kegiatan sosial dan budaya yang meliputi bangunan pelayanan

Buku Pedoman ini bertujuan untuk memastikan seluruh pihak yang berperan dalam desain dan konstruksi bangunan maupun retrofit bangunan yang sudah berdiri dapat memiliki pemahaman dan sudut pandang yang sama akan efisiensi energi.

Perlu difahami bahwa dampak iklim akan sangat berpengaruh pada strategi desain, demikian juga untuk menciptakan kondisi nyaman dalam ruangan harus diakomodasi dalam perhitungan efisiensi energi bangunan.

pendidikan, pelayanan kesehatan dan rumah sakit, laboratorium, dan bangunan pelayanan umum.

- **fungsi khusus,** sebagai tempat melakukan kegiatan khusus seperti fasilitas reaktor nuklir, fasilitas pertahanan dan kemanan, dan bangunan lain yang dirahasiakan.

Meskipun klasifikasi bangunan ini tidak tampak berhubungan langsung dengan konsumsi energi, perlu dipahami bahwa penggunaan atau fungsi bangunan memiliki pengaruh langsung terhadap desain, sistem, dan operasi bangunan. Aspek-aspek ini kemudian akan mempengaruhi konsumsi energi dan efisiensi energi potensial suatu bangunan secara signifikan.

1.2.5 Standar, Kode, dan Regulasi

Berikut adalah sejumlah standar, kode, dan regulasi untuk mendukung efisiensi energi pada bangunan:

a. Standar

Standar Nasional Indonesia (SNI) secara umum digunakan sebagai referensi untuk desain bangunan. Daftar standar yang secara umum digunakan dimuat di dalam Buku Bagian 3.

b. Kode

Pada saat ini masih terdapat sedikit buku yang memuat kode yang dapat digunakan untuk desain bangunan dan kebanyakan terkait dengan aspek keselamatan dan keamanan; belum ada yang terkait secara spesifik dengan efisiensi energi dalam bangunan.

c. Regulasi

Regulasi yang berkaitan dengan desain bangunan dikeluarkan oleh Kementerian Pekerjaan Umum (PERMEN PU). Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (PERMEN ESDM) juga telah mengeluarkan regulasi mengenai efisiensi energi. Regulasi-regulasi ini dicantumkan dalam Buku Bagian 3.



2. Motivasi untuk Pengembang dan Pemilik Bangunan

Sejumlah Ilmuwan telah memprediksi bahwa dalam beberapa tahun mendatang, sumber-sumber energi tak terbarukan, seperti minyak, gas alam, dan batu bara, akan semakin langka dan tidak tersedia lagi.

Hal ini akan memiliki dampak yang sangat besar terhadap penggunaan energi di masa depan, sehingga dua langkah dasar yang harus dijalankan adalah:

- Pengembangan sumber-sumber energi alternatif terbarukan oleh Pemerintah, dan
- Implementasi konservasi energi berskala besar di sektor publik dan privat (swasta). Seluruh area industri harus mengimplementasikan kebijakan efisiensi energi.

Bangunan tentunya menjadi bagian dari beban lingkungan hidup yang besar. Hal ini dibuktikan oleh data bahwa bangunan menghasilkan 50 persen total pengeluaran energi di Indonesia dan lebih dari 70 persen konsumsi listrik keseluruhan digunakan oleh rumah tangga dan sektor komersial (berdasarkan statistik listrik dan energi, 2011). Bangunan juga bertanggung jawab bagi 30 persen emisi gas rumah kaca, serta menggunakan 30 persen bahan baku yang diproduksi.

Sekitar 50 persen penggunaan energi pada bangunan disebabkan oleh proses-proses yang diperlukan untuk menciptakan iklim buatan dalam ruangan melalui pemanasan, pendinginan, ventilasi, dan pencahayaan. Konsumsi energi bangunan pada umumnya memakan sekitar

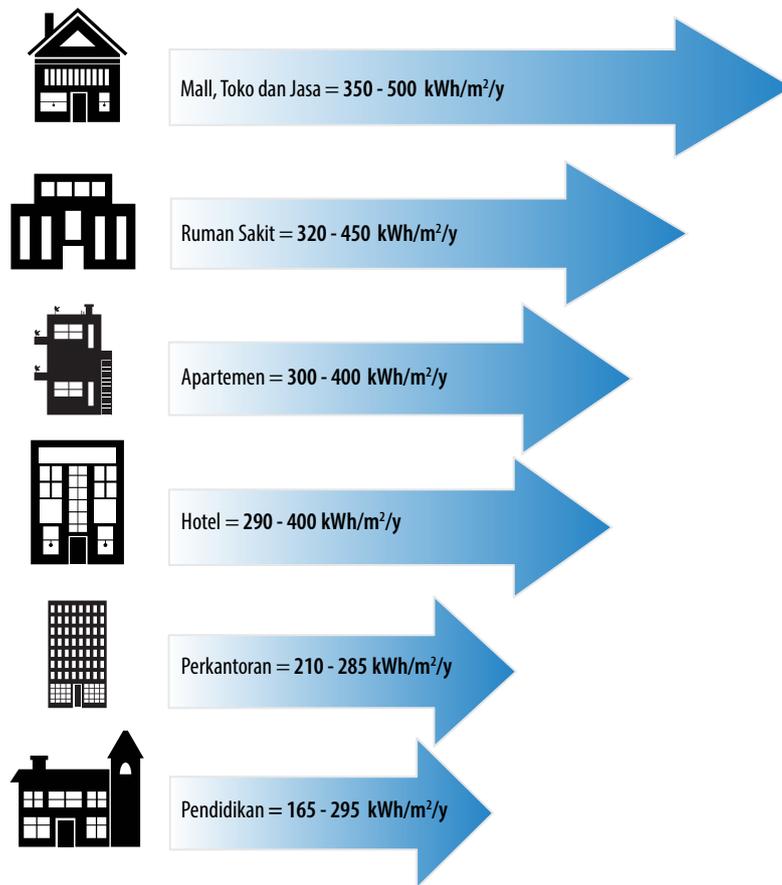
25 persen dari total biaya operasi bangunan. Perkiraan menunjukkan bahwa desain yang ramah lingkungan dengan menggunakan teknologi yang tersedia di dalam bangunan dapat mengurangi konsumsi energi ventilasi dan pendinginan hingga 30 persen dan keperluan energi pencahayaan hingga setidaknya 50 persen.

Oleh karena itu, arsitek, ahli teknik dan konsultan memiliki tanggung jawab sebagai perancang gedung untuk memotivasi, mendorong dan meyakinkan pemilik dan pengembang bangunan gedung untuk mengutamakan penghematan energi dalam bangunan gedung, dan/atau mengganti persediaan energi konvensional dengan sumber energi yang terbarukan.

Pendekatan konsep gedung hemat energi dapat meningkatkan biaya pembangunan di awal, namun dengan mendorong pemilik dan pengembang bangunan gedung untuk menggunakan analisis biaya siklus, mereka dapat melihat keuntungan dari gedung hemat energi dalam jangka panjang, baik secara biaya operasional maupun biaya pemeliharaan.

Pada saat ini, data yang tersedia di Indonesia mengenai konsumsi energi di berbagai jenis bangunan masih terbatas, namun berdasarkan pengalaman lokal dan penelitian internasional, diperkirakan bahwa konsumsi tipe-tipe bangunan yang berbeda adalah seperti dalam Gambar 4. Angka-angka ini juga digunakan dalam Peraturan Gubernur DKI Jakarta tentang Bangunan Gedung Hijau untuk menghitung Indeks Efisiensi Energi (*Energy Efficiency Index/EEI*) yang didasarkan pada

bangunan menghasilkan 50 persen total pengeluaran energi di Indonesia dan lebih dari 70 persen konsumsi listrik keseluruhan. digunakan oleh rumah tangga dan sektor komersial



Gambar 4. Tipe Bangunan dan Indeks Efisiensi Energi

patokan jam operasional sepanjang 2.080 jam/tahun (untuk gedung pendidikan), 2.600 jam/tahun (untuk perkantoran), 4.386 jam/tahun (untuk mall, toko, dan jasa), dan 8.736 jam/tahun (untuk hotel, apartemen, dan rumah sakit).

2.1 Prinsip-Prinsip Dasar

Dalam mengantisipasi kelangkaan energi di masa depan, tidak hanya diperlukan upaya Pemerintah dalam mengembangkan energi terbarukan, namun sektor industri juga harus menjalankan kebijakan konservasi energi. Penting bagi pemilik dan pengembang bangunan untuk mengintegrasikan strategi efisiensi energi pada tahap desain awal untuk diimplementasikan pada tahap-tahap konstruksi, pengadaan, dan operasional bangunan.

Untuk dapat mempersiapkan serta memandu desain dan proses konstruksi yang hemat energi yang diperlukan dalam rangka mencapai hasil akhir yang hemat energi, pengembang bangunan harus memahami elemen-elemen utama efisiensi energi, yaitu:

a. Proses Desain Terintegrasi (*Integrated Design Process*). Proses desain terintegrasi mencakup

karakteristik lokasi dan desain bangunan, yang meliputi pilihan-pilihan arsitektur, struktural, mekanikal dan elektrikal dengan tujuan untuk meminimalisasi konsumsi energi. Untuk mencapai tujuannya, pendekatan terintegrasi ini membutuhkan kolaborasi erat antara arsitek dengan insinyur mekanikal, struktural, dan elektrikal, serta kontraktor dalam fase desain dan konstruksi.

b. Pilihan Material dan Teknologi. Seluruh material dan teknologi yang digunakan pada fasad dan lapisan luar dari selubung bangunan, untuk konservasi air, pemasangan listrik (lampu, dan sebagainya), dan sistem AC, harus didesain secara akurat untuk meminimalisasi konsumsi energi yang dihasilkan, dan pada saat yang bersamaan juga memenuhi syarat fungsional dan lainnya dari bangunan tersebut.

c. Iklim. Karena kebanyakan energi dalam bangunan digunakan untuk memastikan kenyamanan manusia, jelas bahwa iklim sekeliling serta kondisi dalam ruangan yang ditargetkan memiliki dampak yang besar bagi kinerja energi bangunan:

- *Radiasi sinar matahari* (panas dan cahaya)

Proses desain terintegrasi mencakup karakteristik lokasi dan desain bangunan, yang meliputi pilihan-pilihan arsitektur, struktural, mekanikal dan elektrikal dengan tujuan untuk meminimalisasi konsumsi energi.

mempengaruhi persyaratan beban pendinginan dan desain pencahayaan bangunan. Hal ini dapat dipengaruhi oleh orientasi fasad bangunan dan material yang digunakan pada selubung bangunan.

- *Suhu udara* dengan kelembaban relatif merupakan parameter dominan untuk mempertimbangkan desain AC untuk mencapai kenyamanan manusia dan lingkungan dalam ruangan yang diinginkan.
- *Kelembaban relatif* memiliki dampak yang besar terhadap lingkungan dalam ruangan dan kenyamanan manusia sehingga menjadi faktor penting dalam menentukan desain AC dan pencapaian iklim dalam ruangan yang baik.
- *Arah angin utama* dapat digunakan dalam beberapa kasus untuk mengurangi kebutuhan pendinginan dan ventilasi sehingga perlu untuk dipertimbangkan.

d. Operasional. Panduan operasional dan pemeliharaan bangunan yang difokuskan pada langkah-langkah efisiensi energi esensial untuk mencapai dan memelihara kinerja energi yang ditargetkan melalui desain bangunan. Lebih lanjut lagi, *Building Automation System* dan *Building Energy Management System* (BAS & BEMS) merupakan sistem yang tepat untuk mencapai dan memelihara operasional bangunan yang efisien, terutama pada bangunan besar.

e. Perilaku. Kesadaran dan kepedulian akan pemakaian energi serta lingkungan dalam ruangan dari seluruh penghuni bangunan sangatlah penting. Pendidikan dan pelatihan dapat meningkatkan pemahaman penghuni bangunan akan pentingnya upaya-upaya pengelolaan bangunan dalam memelihara dan meningkatkan efisiensi energi bangunan serta bentuk-bentuk kontribusi yang mereka dapat lakukan.

2.2 Manfaat

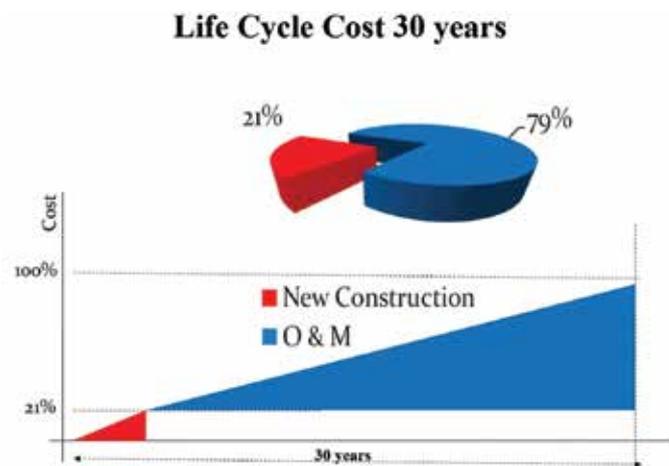
Desain hemat energi yang berdasarkan teknik desain-pasif akan meningkatkan efektivitas penggunaan energi terbarukan dengan mengurangi dampak gedung terhadap lingkungan. Energi terbarukan yang terdapat langsung di tempat (*on-site renewable energy*), seperti sistem *photovoltaic* masih relatif mahal. Untungnya, desain gedung yang meningkatkan efisiensi energi lebih murah untuk diimplementasi dan dipergunakan daripada sumber energi

alternatif yang *on-site*. Terdapat cara-cara efektif untuk mengurangi kebutuhan energi, seperti orientasi tempat yang baik, kedap udara, jendela berperforma tinggi, isolasi tingkat tinggi, peralatan hemat energi, dan "*low-hanging fruit*" lainnya.

Keuntungan yang paling penting dari desain hemat energi adalah penurunan biaya operasional gedung selama masa hidup gedung.

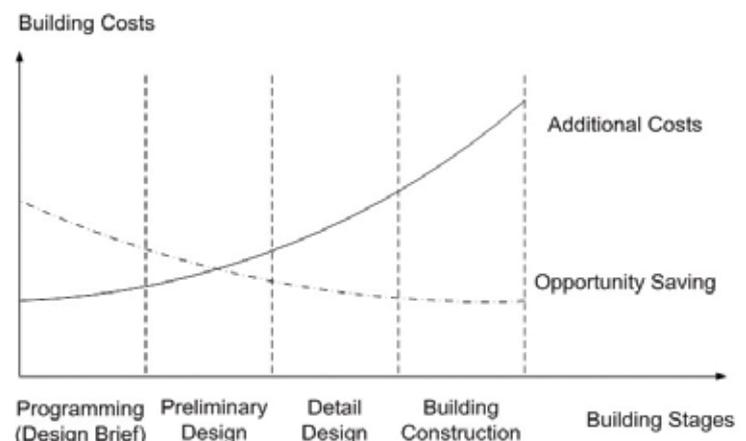
2.3 Kendala

Kendala utama bagi pengembang bangunan adalah kesalahpahaman bahwa pengeluaran modal lebih penting dibandingkan biaya siklus hidup bangunan. Mayoritas pemilik dan pengembang bangunan lebih peduli akan



Gambar 5. Biaya Siklus Hidup Bangunan

biaya awal tanpa menyadari bahwa biaya awal berhubungan erat dengan biaya operasional bangunan. Penggunaan desainer yang berpengalaman dalam proyek bangunan hemat energi serta material konstruksi dan peralatan mekanikal / elektrikal yang tidak layak dan tidak



Gambar 6. Pengaruh Biaya untuk Tahapan-Tahapan Pendirian Bangunan

tahan lama akan berdampak terhadap biaya operasional dan pemeliharaan bangunan seiring waktu, seperti ditunjukkan di Gambar 5.

Selain itu, sangat penting untuk memahami bahwa keputusan yang diambil pada masa awal persiapan *brief* desain memiliki pengaruh kuat terhadap efisiensi energi dan pada akhirnya biaya modal dan siklus hidup dari keseluruhan proyek bangunan. Keputusan yang baik diambil pada awal proses desain dan akan menghasilkan manfaat yang lebih besar dibandingkan keputusan baik yang diambil di tengah-tengah proses.

Dampak dari keputusan desain terhadap biaya proyek ditunjukkan pada diagram di Gambar 6 untuk tiap-tiap tahap desain

Keputusan baik yang diambil pada tahap-tahap awal proses desain bangunan dengan menggunakan proses desain terintegrasi untuk mencapai efisiensi energi akan memberi manfaat dalam hal biaya investasi modal serta biaya operasional.

Konsultan harus memahami bahwa proses pembangunan gedung hemat energi akan lebih mudah apabila dasar-dasar desain sudah tepat. Sebaliknya, mengimplementasikan teknologi hemat energi pada desain yang tidak efisien akan menyulitkan proses pencapaian efisiensi energi. Oleh karena itu, arsitek sebaiknya berhati-hati dengan keputusan penampilan dan pilihan bahan

yang dapat berdampak buruk pada aspek efisiensi energi dari desain. Ahli mekanikal dan elektrik, serta konsultan-konsultan ahli lainnya, harus berhati-hati dengan penggunaan peralatan dan sistem gedung yang berukuran terlalu besar.

2.4 Brief Desain

Brief desain merupakan lini pertahanan pertama bagi pemilik/pengembang bangunan terhadap biaya investasi modal yang meningkat maupun memastikan bahwa dirinya akan mendapatkan keuntungan secara menyeluruh dari biaya operasional yang lebih rendah melalui bangunan hemat energi yang didesain dengan baik.

Brief desain pada dasarnya terdiri dari deskripsi pilihan-pilihan proyek yang telah disetujui dan berisi rincian mengenai tujuan dan parameter untuk dipertimbangkan oleh konsultan proyek ketika mendesain proyek tersebut. *Brief* desain harus disusun untuk konsultan proyek sebagai Kerangka Acuan (*Terms of Reference*) dalam rangka menetapkan tujuan, persyaratan, batasan, target, dan pendekatan desain klien untuk diimplementasikan pada bangunan baru atau proyek renovasi bangunan berskala besar.

Sebagai persyaratan minimal, *brief* desain harus dapat membantu klien dan konsultan untuk memahami peluang dan manfaat potensial terkait dalam proyek yang dapat meningkatkan efisiensi bangunan. Selain itu, *brief* desain juga harus dapat memberikan latar belakang akan isu-isu kunci untuk diatasi selama desain dan implementasi bagi seluruh pihak yang terlibat dalam proyek.

Brief desain yang dipersiapkan dengan baik dapat digunakan selama proyek sebagai referensi untuk memastikan bahwa persyaratan awal dan tujuan pengembang dapat tercapai. Juga harus dipahami bahwa *brief* desain merupakan dokumen yang selalu dapat direvisi bila dibutuhkan agar dapat merefleksikan segala perubahan dalam kriteria, persyaratan, dan/atau tujuan desain.

STRUKTUR BRIEF DESAIN UMUM

Latar Belakang Proyek dan Informasi Fisik

Tujuan Proyek

Persyaratan Proyek

- Jadwal akomodasi
- Persyaratan lingkungan dalam ruangan
- Pertimbangan estetika

Peluang dan Kendala

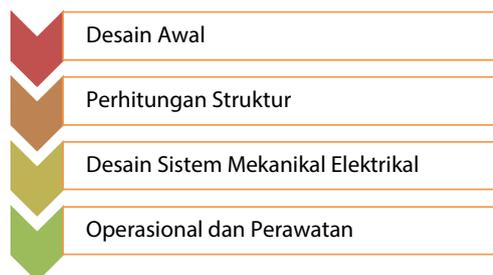
- Lahan
- Iklim
- Keuangan
- Waktu

Target Kinerja

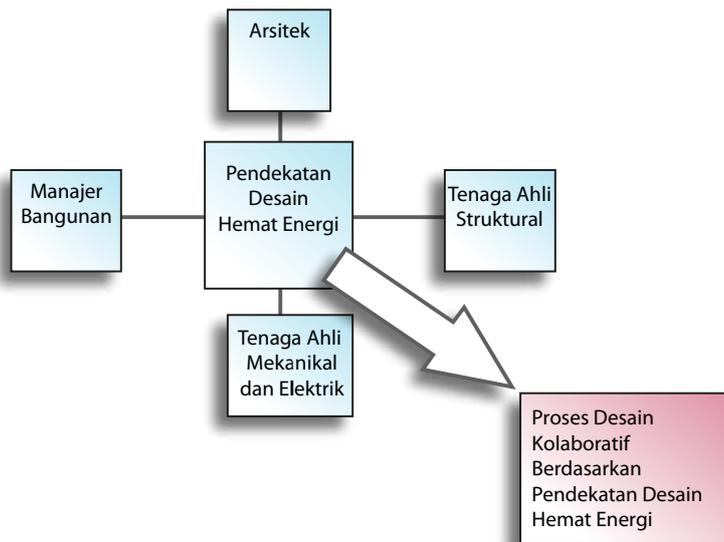
- Keuangan
- Energi

Pendekatan Desain dan Konstruksi

- Strategi pengadaan
- Pendekatan desain terintegrasi
- Perencanaan dan lansekap
- Desain selubung dan struktural
- Desain pencahayaan dan listrik
- Desain HVAC
- Persyaratan operasional dan pemeliharaan
- Pertimbangan *testing-commissioning*



Gambar 7. Pendekatan Desain Konvensional



Gambar 8. Pendekatan Desain Terintegrasi

2.5 Proses Desain Terintegrasi

Perbedaan antara proses desain terintegrasi dan desain konvensional adalah bahwa desain konvensional bersifat linear/serial konvensional. Kekurangan dari proses desain konvensional ini adalah kerja operasional secara rutin selanjutnya tidak mendukung optimalisasi desain saat dikerjakan secara terpisah (*individual decoupled design work*). Contohnya, arsitek dan klien setuju akan suatu konsep desain yang terdiri dari skema masif umum, orientasi, fenestrasi, penampilan eksterior secara umum, dan bahan-bahan umum, dimana tenaga ahli mekanikal dan elektrikal akan diminta untuk menerapkan desain tersebut dan memberikan saran untuk sistem pembangunan yang sesuai. Hal ini pada umumnya mengakibatkan ahli teknik harus melakukan *retrofitting* teknologi untuk membuat desain yang telah ada menjadi lebih hemat energi.

Pendekatan desain terintegrasi memberikan penekanan pada pembuatan konsep desain secara berulang yang sangat dini dalam proses, dengan melibatkan tim spesialis yang terkoordinasi. Hasilnya adalah setiap anggota tim dapat berkontribusi ide dan pengetahuan teknis mereka sangat dini dan secara kolektif. Sangatlah penting bahwa seluruh konsep dan isu desain diselesaikan secara bersama-sama dalam tahap awal desain. Dalam pendekatan ini, konsep energi dan peralatan bangunan gedung tidak didesain sebagai komplemen terhadap desain yang dibuat arsitek, melainkan sebagai bagian integral dari bangunan gedung sejak awal.

Sebuah pendekatan desain terintegrasi memadukan keahlian dari disiplin ilmu yang berbeda-beda mulai dari arsitektur, lansekap, mekanikal dan elektrikal diintegrasikan pada tahap awal proyek dan mempertimbangkan seluruh peluang dan pilihan sejak awal mula proses desain.

Dahulunya, efisiensi energi bukan merupakan pertimbangan utama dalam mendesain bangunan gedung dan sebagai akibatnya, kesinambungan aspek desain yang berbeda agar mencapai efisiensi energi yang maksimal sering dilupakan. Dengan menggunakan pendekatan terintegrasi menuju desain yang efisien dalam aspek energi sejak awal desain, tim desain dapat mengambil kelebihan dari peluang yang ada untuk mencapai performansi energi yang lebih baik.

Dengan demikian, pendekatan sistematis dalam mengoordinasikan pendekatan-pendekatan desain ini berkontribusi besar dan Desain Terintegrasi Awal merupakan peluang yang bagus untuk menyediakan ruang untuk pendekatan yang sistematis. Sebaiknya, dalam tahap permulaan proyek, beberapa indikasi awal dimasukkan ke dalam Desain Terintegrasi Awal, untuk diperbaiki oleh konsultan seiring dengan perkembangan desain.

Untuk diskusi lebih lengkap mengenai pendekatan ini, lihat Buku 1, Bagian 4 "Proses Desain Terintegrasi".

Sekitar 50% dari penggunaan energi dalam bangunan gedung berasal dari proses-proses pemanasan dan pendinginan ruangan, ventilasi, dan penerangan ruangan. Konsumsi energi dari sebuah bangunan gedung pada umumnya menghabiskan sebesar 25% dari total biaya operasional.

2.6 Cara Meyakinkan Pengembang Bangunan Gedung Anda

Yang paling dikhawatirkan oleh pengembang dan pemilik gedung adalah aspek finansial dari proyek, karena pembangunan gedung merupakan investasi yang berorientasi profit. Oleh karena itu, cara yang paling cepat dan paling mudah untuk meyakinkan pemilik gedung untuk mempertimbangkan efisiensi energi sebagai bagian integral dari filosofi pembangunan gedung adalah dengan menjelaskan implikasi finansial positif yang timbul dari efisiensi energi terhadap pengeluaran modal dan biaya operasional jangka panjang. Penggunaan program Analisis Biaya Siklus-Hidup adalah metode yang bagus untuk mendemonstrasikan poin-poin ini. Lebih lengkapnya mengenai ABSH dapat dilihat di Buku 1, Bagian 5.

Selain keuntungan dan biaya yang jelas, terdapat juga kekhawatiran akan dampak lingkungan dari pola konsumsi energi saat ini yang harus dipertimbangkan dan ditunjukkan kepada pembangun. Dampak lingkungan yang negatif ini mencakup adanya pemanasan global akibat CO₂ dan gas rumah kaca lainnya, semakin sedikitnya persediaan bahan bakar fosil, dan dampak dari praktek desain yang tidak berkelanjutan terhadap lingkungan setempat dan aspek lingkungan secara umum.

2.7 Argumen Pro dan Kontra untuk Efisiensi Energi

Dengan adanya perhatian internasional dan liputan media yang lebih tinggi akhir-akhir ini, semakin banyak orang yang peduli dan khawatir mengenai pemanasan global. Sebagai akibatnya, terdapat lebih banyak upaya untuk menghentikan perusakan lingkungan dan penipisan sumber daya alam, **namun masih banyak orang yang mempertanyakan apakah efisiensi energi**

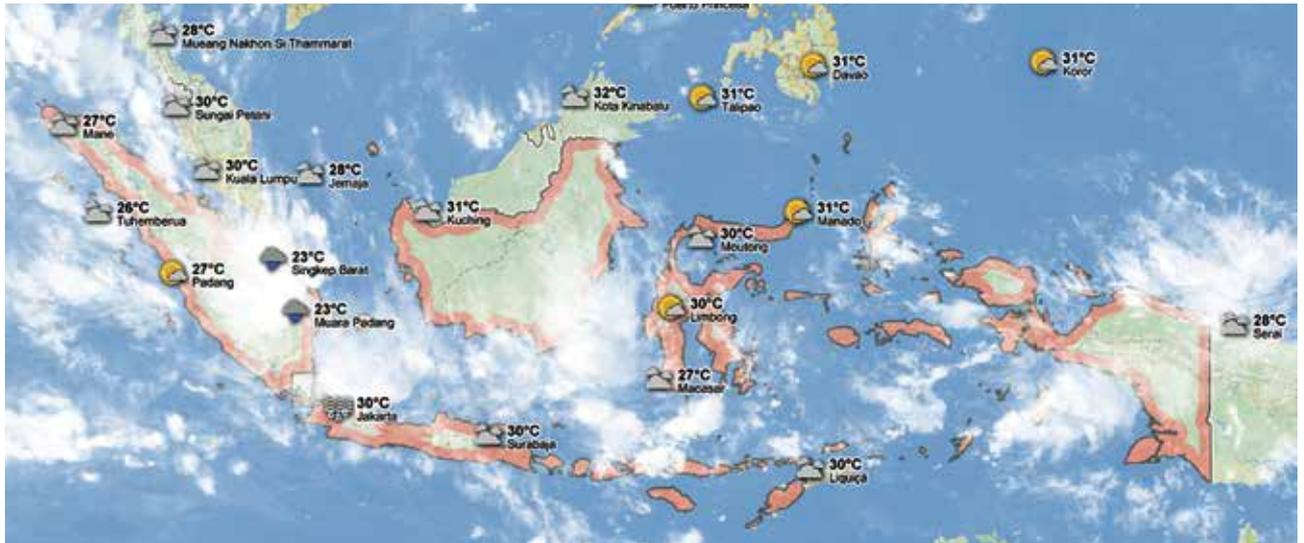
dalam pembangunan gedung merupakan pendekatan efektif untuk menurunkan emisi gas rumah kaca.

Bangunan gedung dapat memberi kontribusi penting terhadap pelestarian lingkungan. Hal ini dibuktikan dengan fakta bahwa hampir 50 % dari pengeluaran energi total di Indonesia dan lebih dari 70 % dari seluruh konsumsi listrik berasal dari gedung (Ref: *Statistic Book of Electricity and Energy*, no.22). Bangunan gedung juga merupakan sumber dari 30% emisi rumah kaca dan menghabiskan 30% dari bahan mentah. Sekitar 50% dari penggunaan energi dalam bangunan gedung berasal dari proses-proses pendinginan ruangan, ventilasi, dan penerangan ruangan. Konsumsi energi dari sebuah bangunan gedung pada umumnya menghabiskan sebesar 25% dari total biaya operasional. Perkiraan-perkiraan yang ada mengindikasikan bahwa desain yang dapat mengendalikan beban eksternal akibat iklim dan cuaca di luar gedung dengan mengimplementasikan teknologi-teknologi mutakhir yang ada dalam bangunan gedung dapat menurunkan konsumsi energi untuk pendinginan dan ventilasi sebesar 30% dan kebutuhan energi untuk penerangan sebesar 50%. **Orang-orang enggan untuk menghabiskan biaya yang lebih tinggi di awal untuk bahan, peralatan, dan bangunan gedung di saat mereka tidak yakin bangunan gedung tersebut akan dapat dipakai lebih lama, karena periode payback masih merupakan pendekatan teoritis yang belum terbukti.**

Saat ini, belum ada *database* yang dapat digunakan sebagai acuan nyata di Indonesia terkait konsumsi energi dari berbagai jenis gedung, atau besarnya tambahan biaya yang terjadi akibat strategi desain yang efisien energi, serta periode *payback* yang terkait dengan hal itu. Meski demikian, Singapura telah secara efektif menerapkan Bangunan Gedung Hijau sejak 1993, dan sekarang telah memiliki lebih dari 1000 bangunan gedung yang bersertifikasi *Greenmark*. BCA *Building Construction Authority* Singapura mengeluarkan data mengenai tambahan investasi dan *payback* per tahun per kategori perolehan sertifikasi *Greenmark* seperti terlihat di Tabel 1. Argumentasi terjadinya pro dan kontra untuk melakukan penghematan energi pada umumnya berhubungan dengan biaya investasi tambahan yang terjadi dalam implementasi. Namun, karena investasi tambahan ini justru membantu menurunkan biaya operasional, uang yang dihemat per tahun dari biaya operasi dapat menutupi biaya investasi awal yang lebih tinggi.

Kategori Greenmark	Peningkatan biaya investasi (%)	Investasi tambahan yang terbayar kembali dari penghematan operasi per tahun
Platinum	Hingga 8 %	Hingga 8 tahun
Gold plus	Hingga 3 %	Hingga 6 tahun
Gold	Hingga 2 %	Hingga 6 tahun
Certified	Hingga 1 %	Hingga 5 tahun

Tabel 1. Biaya Investasi Tambahan untuk Bangunan Gedung Hijau di Singapura



3. Iklim Indonesia

3.1 Iklim Indonesia

Iklim tropis, hangat dan lembab:

- Suhu : 23° C – 33° C DB (*dry bulb* suhu bola kering)
- Kelembaban : 55% - 97% RH (*relative humidity* – kelembaban relatif)
- Presipitasi : Hingga 2000 mm/tahun

3.2 Pola Iklim

- Musim Kering (Juni - September), dipengaruhi oleh massa udara kontinental.
- Musim Hujan (Desember - Maret), dipengaruhi oleh massa udara dari Asia dan Samudera Pasifik.
- Pola angin yang berinteraksi dengan kondisi topografi lokal dapat menghasilkan curah hujan di seluruh negeri yang sangat bervariasi. Pola angin dan hujan tahunan yang berpindah-pindah ini berkaitan dengan lokasi geografis Indonesia sebagai kepulauan nusantara yang terletak di antara dua benua besar, yang mengakibatkan adanya curah hujan tinggi saat musim hujan.

3.3 Unsur-unsur iklim

3.3.1 Data Meteorologi

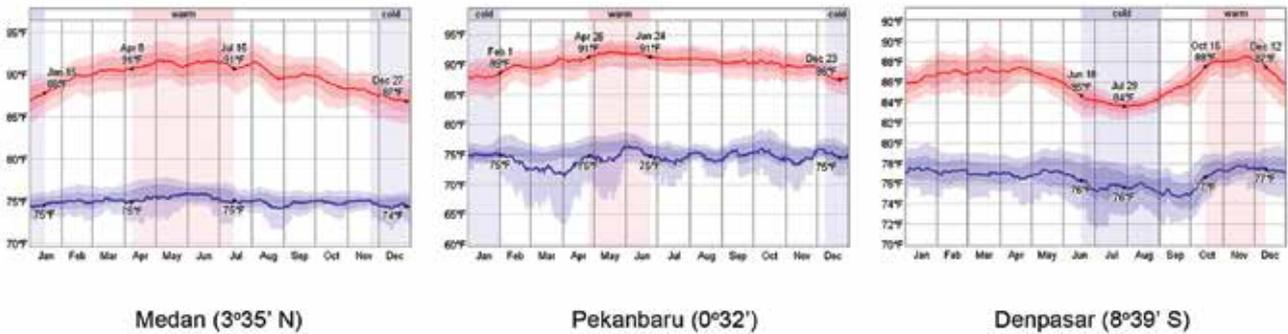
Data meteorologi adalah informasi iklim yang telah dikumpulkan dalam periode waktu tertentu. Informasi ini diproses untuk menciptakan profil meteorologis sebuah area selama satu tahun. Data meteorologi pada umumnya mencakup suhu, kelembaban, radiasi matahari, arah dan kecepatan angin, dan curah hujan. Data meteorologi dapat digabungkan untuk wilayah diinginkan yang memiliki pusat cuaca dan merupakan data terkompilasi untuk keperluan interpolasi dan extrapolasi di daerah tersebut dan sekelilingnya.

Data meteorologi untuk Indonesia dapat diwakili secara kasar oleh data cuaca wilayah Medan (3°35' N), Pekanbaru (0°32') dan Denpasar (8°39' S) sebagai representatif dari garis lintang utara dan selatan di Indonesia.

Data ini berdasarkan catatan historis dari tahun 1974 sampai 2011. Catatan sebelum 1974 tidak ditemukan atau tidak dapat digunakan.

3.3.2 Suhu

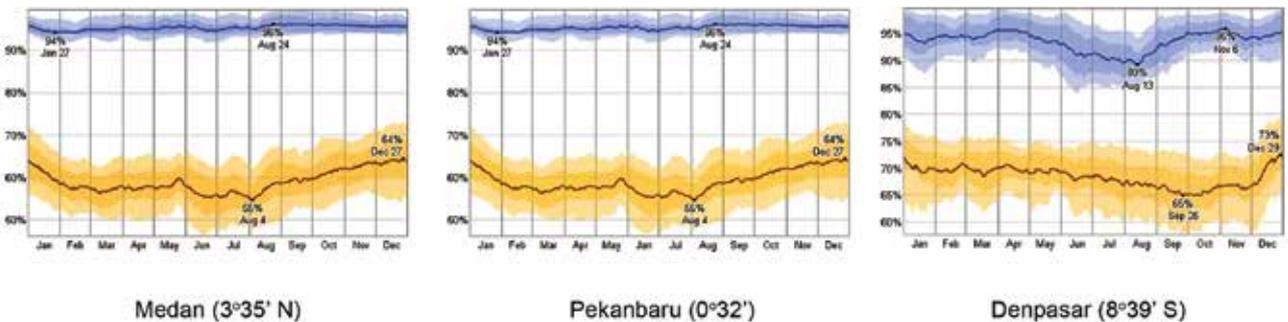
Bagan berikut ini merupakan suhu per tahun (maks & min) untuk wilayah yang diwakili oleh 3 kota.



Gambar 9. Profil Suhu di Tiga Kota; Sumber: www.weatherspark.com

3.3.3 Kelembaban

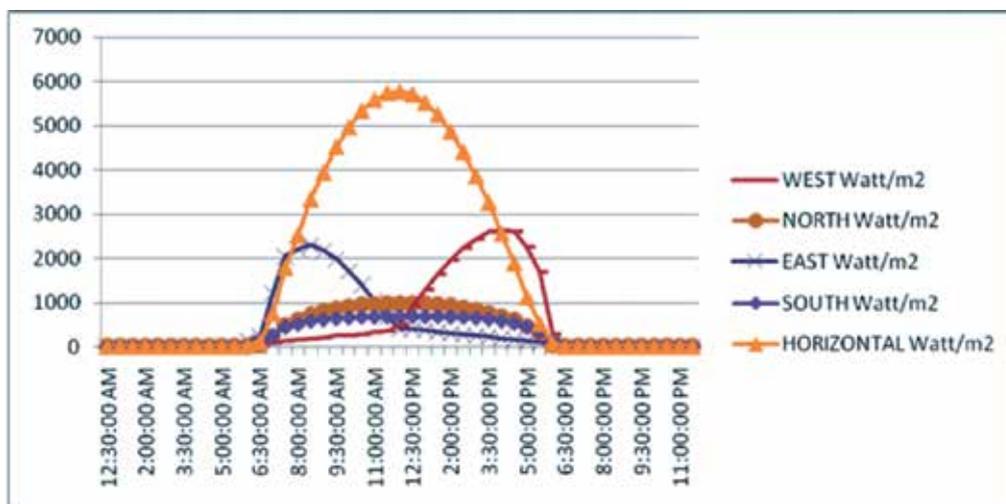
Berikut ini merupakan bagain kelembaban per tahun (maks & min) untuk wilayah yang diwakili oleh 3 kota.



Gambar10. Profil Kelembaban untuk 3 Kota Berbeda; Sumber: www.weatherspark.com

3.3.4 Radiasi Matahari

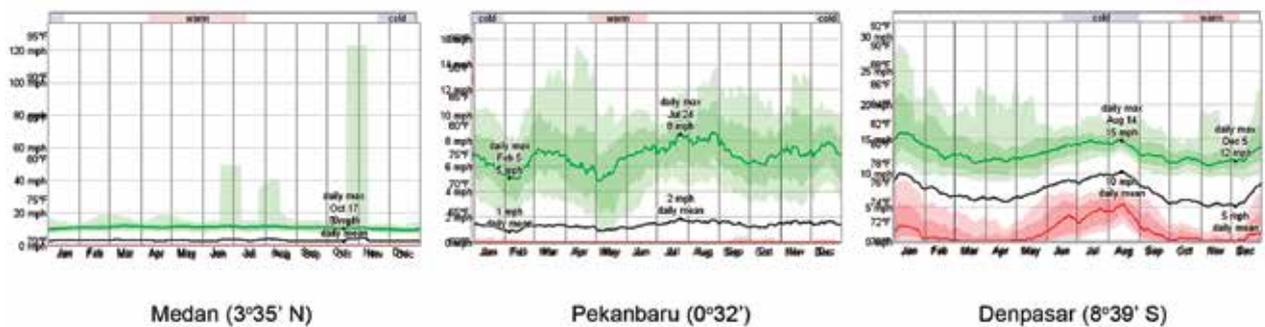
Berikut ini merupakan representasi grafis dari radiasi matahari per orientasi utama untuk Jakarta.



Gambar 11. Radiasi Matahari di Jakarta yang Dihasilkan Perangkat Lunak; Sumber: EnergyPlus; www.energyplus.gov

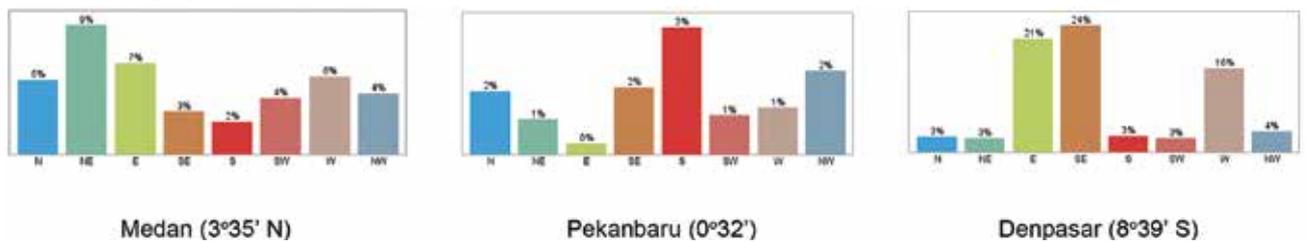
3.3.5 Angin

Grafik Kecepatan Angin per tahun yang diwakili oleh 3 kota.



Gambar 12. Kecepatan Angin dari 3 Kota Berbeda; Sumber: www.weatherspark.com

Grafik Arah Angin per tahun



Gambar 13. Arah Angin dari 3 Kota Berbeda; Sumber: www.weatherspark.com

3.3.6 Curah Hujan

Berikut ini adalah curah hujan per tahun untuk wilayah-wilayah yang diwakili oleh 3 kota.



Gambar 14. Perbandingan Curah Hujan; Sumber: www.weatherspark.com

Meski demikian, kondisi iklim-mikro dapat memiliki pengaruh signifikan terhadap desain bangunan gedung, sehingga kondisi tempat secara spesifik harus dianalisis untuk memastikan bahwa desain telah disesuaikan untuk kondisi spesifik tersebut.

3.3.7 Kondisi “Desain Hari”

Penggunaan informasi “Desain Hari” (*Design Day*) direkomendasikan untuk melakukan simulasi kondisi cuaca yang paling ekstrem dalam siklus cuaca lengkap sebagai bagian dari proses pembuatan model energi bangunan gedung. Ini dilakukan untuk menguji performa dari desain spesifik saat menghadapi kondisi ekstrim di titik tertentu, pada waktu spesifik dari siklus cuaca atau pada kondisi cuaca spesifik. Di awal pelaksanaan *modeling* konsumsi energi bangunan gedung, sebuah “desain hari” di pertengahan musim dingin dan di pertengahan musim panas biasanya digunakan untuk menilai performa dari desain dalam dua kondisi yang berbeda. Pembuatan model lebih lanjut akan dibutuhkan saat desain diperhalus untuk memastikan bahwa desain tersebut bekerja secara tepat dalam seluruh kondisi.

3.4 Zona Iklim

Zona iklim di Indonesia tidak terdefiniskan secara baik. Secara umum, ini disebabkan oleh lokasi geografis horizontal sepanjang garis equator, sehingga sifat iklim Indonesia hampir seluruhnya tropis. Meski demikian, kondisi iklim-mikro dapat memiliki pengaruh signifikan terhadap desain bangunan gedung, sehingga kondisi tempat secara spesifik harus dianalisis untuk memastikan bahwa desain telah disesuaikan untuk kondisi spesifik tersebut. Kondisi-kondisi tempat seperti berikut dapat memiliki pengaruh terhadap desain dan harus dipertimbangkan:

- Elevasi
- Lereng dan orientasi lereng
- Kedekatan dengan air (laut dan badan air lainnya)
- Kedekatan dengan gunung dan bukit
- Arah angin
- Jenis dan jangkauan tanaman



4. Tingkat Kenyamanan Termal & Lingkungan dalam Bangunan Gedung

Tujuan-tujuan utama mengkonsumsi energi dalam bangunan gedung adalah untuk menyediakan:

- Kenyamanan yang terkait dengan kondisi lingkungan dalam ruangan dengan kondisi yang terdapat di luar ruangan.
- Kesehatan dan produktivitas manusia.

Tujuan utama melakukan efisiensi energi di bangunan gedung dan sistem bangunan gedung yang memiliki efisiensi energi adalah untuk:

- Memperkecil konsumsi energi tanpa mengorbankan kenyamanan, kesehatan, atau produktivitas dari penghuni bangunan gedung.

4.1 Kenyamanan Termal

Kenyamanan termal manusia dapat didefinisikan dalam dua aspek:

- **Sudut pandang psikologis:**

Seseorang berada dalam kenyamanan termal apabila dia merasa nyaman pada kondisi suhu pada rentang suhu panas

dan dingin di ruangan tersebut. Urutan sensasi yang dirasakan oleh badan terhadap kenyamanan termal adalah sensasi panas, hangat, sedikit hangat, netral, sedikit sejuk, sejuk, dan dingin.

Skala Kenyamanan Termal Menurut ASHRAE	
Panas	+3
Hangat	+2
Sedikit hangat	+1
Netral	0
Sedikit sejuk	-1
Sejuk	-2
Dingin	-3

- **Sudut Pandang Fisiologis:**

Kenyamanan termal terjadi saat terdapat keseimbangan termal tanpa adanya proses berkeringat secara reguler antara tubuh manusia dan lingkungan. Parameter kenyamanan termal manusia adalah:

Variabel lingkungan	Suhu	(DBT & WBT)
	Kelembaban	(RH)
	Suhu Transmisi Panas Rata-rata	
	Radiasi Matahari	(MRT)
	Pergerakan Udara	(W/m ²) (m/sec)
Variabel personal	Isolasi Pakaian	(Clo)
	Aktivitas	(Met)

- **Zona Kenyamanan**

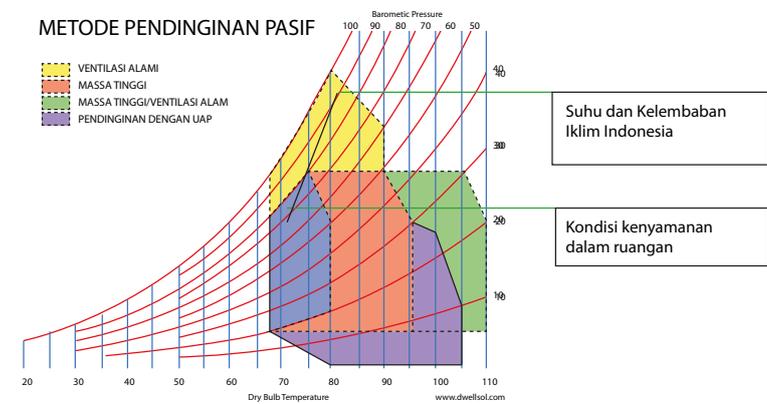
Zona Kenyamanan adalah wilayah yang tercakup dalam grafik psikometris yang mengindikasikan adanya lingkungan termal yang sesuai untuk orang berpakaian biasa yang berada dalam ruangan. Sebuah lingkungan termal yang sesuai adalah lingkungan dimana paling sedikit 80% penghuni merasa bahwa

lingkungan tersebut nyaman secara termal.

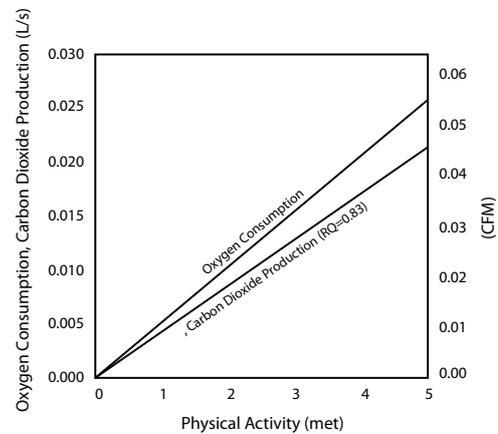
Untuk mencapai bangunan gedung yang hemat energi, direkomendasikan untuk menggunakan grafik kenyamanan psikrometrik untuk membuat proses dimana desainer dapat secara sistematis mencocokkan solusi desainnya dengan kondisi iklim yang ada.

Meskipun kisaran kenyamanan yang sesuai dapat bervariasi untuk individu yang sama sepanjang tahun, terdapat batasan yang jelas terhadap kisaran suhu, kelembaban, dan ventilasi dimana kenyamanan manusia dapat dipertahankan. Gambaran zona kenyamanan dalam grafik psikrometrik telah direpresentasikan dengan baik oleh M.Milne & B. Givoni dalam Gambar 15.

Dari Gambar tersebut, dapat dilihat bahwa dengan menggunakan berbagai strategi teknologi dapat dicapai jarak yang terdekat antara dua suhu iklim dan titik kelembaban, yang menghasilkan penggunaan energi yang efisien.



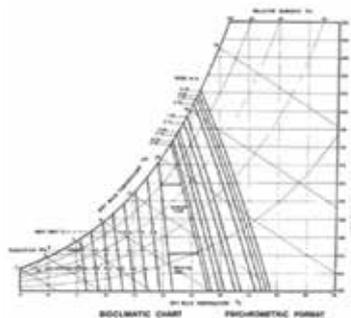
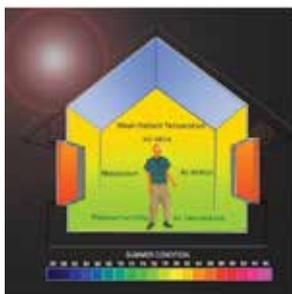
Gambar 15. Zona Kenyamanan dalam Grafik Psikrometrik; Sumber: Architectural Design Based on Climate. M. Milne & B. Givoni



Gambar 17. Kebutuhan Oksigen dan Tingkat MET

Typical Met Levels for Various Activities

Activity	Met
Seated quiet	1.0
Reading and writing, sealed	1.0
Typing	1.1
Filling, seated	1.2
Filling, standing	1.4
Walking at 0.9 m/s (2mph)	2.0
House cleaning	2.0 - 3.4
Exercise	3.0 - 4.0



Gambar 16. Grafik Bioklimatik Psikrometrik; Sumber: derived from Andrew K. Persily, Ph.D.; Evaluating Building IAQ & Ventilation With Indoor Carbon Dioxide

4.2 Penimbunan CO₂

Salah satu cara agar bangunan gedung memiliki efisiensi energi yang baik adalah dengan mengupayakan agar infiltrasi udara panas dari luar dan kehilangan udara sejuk dari dalam harus diperkecil. Oleh karena itu, sebisa mungkin daerah bangunan gedung harus didesain untuk menjadi kedap udara. Namun, dampak negatif dari situasi kedap udara ini yaitu adanya penimbunan CO₂ akibat ventilasi yang tidak cukup. Grafik pada Gambar 17 menunjukkan CO₂ yang diproduksi oleh aktivitas umum penghuni serta kebutuhan oksigen untuk aktivitas-aktivitas tersebut.

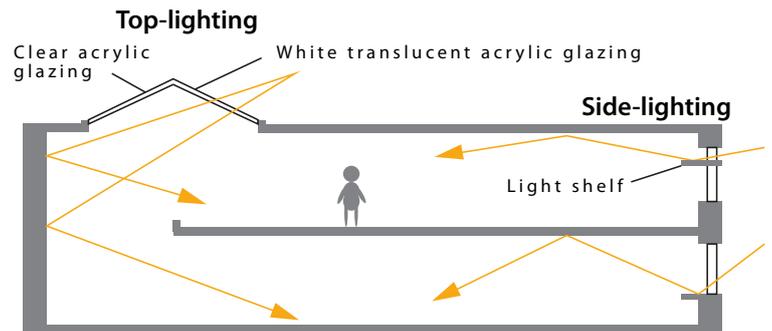


Gambar 18. Contoh Penerangan Alami

4.3 Akses ke Cahaya Alami

Salah satu strategi utama untuk menciptakan bangunan gedung yang memiliki efisiensi energi yang baik adalah dengan memaksimalkan cahaya alami yaitu dengan cara:

- Pertama, memanfaatkan sebanyak-banyaknya cahaya alami sebagai sumber utama penerangan untuk tempat kerja



Gambar 19. Akses Cahaya alami

METODA	PENERANGAN ATAS	PENERANGAN SAMPING
Cara akses	• Kaca atap horizontal/lereng	• Jendela vertikal
Kemampuan distribusi cahaya	• Wilayah interior yang lebih luas	• Penetrasi interior terbatas
Faktor utama	• Ketidaknyamanan visual yang lebih tinggi • Ketidaknyamanan termal lebih tinggi (Peningkatan panas secara efektif)	• Ketidaknyamanan visual lebih rendah • Ketidaknyamanan termal lebih rendah
Jenis glazing kaca	• Diffused glazing	• Glazing kosong / berwarna/reflektif
Tingkat kompleksitas	• Kurang kompleks	• Lebih kompleks
Faktor yang dipertimbangkan	• Terbuka langsung ke langit	• Ukuran glazing • Lokasi • Transmittance visual kaca • Performa termal kaca
Penerangan listrik yang perlu ditambah	• Tidak ada	• Dibutuhkan dalam jarak tertentu dari kaca
Penerangan listrik yang perlu ditambah	• Tidak ada	• Dibutuhkan dalam jarak tertentu dari kaca

Table 3. Mengakses Cahaya Alami

dengan memaksimalkan cahaya matahari.

- Kedua, hanya menggunakan lampu elektrik di tempat dimana cahaya alami tidak cukup, dan selanjutnya memilih lampu artificial yang efisien dan sesuai.

Untuk mendefinisikan akses cahaya alami, dapat digunakan suatu metode yang bernama Faktor Cahaya Alami atau *Daylight Factor* (DF). Faktor Cahaya Alami atau *Daylight Factor* (DF) adalah rasio perhitungan yang digunakan untuk mendeskripsikan hubungan antara penerangan dalam ruangan dan luar ruangan (umumnya di bawah kondisi langit yang gelap).

$$DF = \frac{EI \text{ (indoor illuminance)}}{EO \text{ (outdoor illuminance)}}$$

Untuk di Indonesia:

$$DF = \frac{EI}{10.000 \text{ (lux-uniform luminance distribution)}}$$

Berikut adalah strategi penerangan alami:

▶ Memaksimalkan Pencahayaan Samping, Diperoleh dari SNI 03-2396-2001:	Bergantung pada:
» Faktor cahaya alami minimum untuk tugas tertentu	DF_{MIN} -non dimensional
» Jarak antara jendela dan dinding yang berhadapan (kedalaman ruangan)	(m)
» Lebar efektif dari aperture (jendela efektif)	(m)
» Panjang efektif dari aperture (jendela efektif)	(m)
» Jarak efektif dari jendela-titik pengukuran	(m)
» DF nyata harus lebih besar dari DF minimum	DF
▶ Memaksimalkan Cahaya Atas: diperoleh dari Millet & Bedrick, 1980	$A_{DAERAH \text{ PENCAHAYAAN LANGIT}} = (DF_{min}) \times (A \text{ lantai}) / AE$
	Bergantung pada:
» Faktor cahaya alami minimum untuk tugas tertentu	DF_{MIN} -non dimensional
» Daerah lantai yang diterangi (A lantai)	(m ²)
» Faktor Efektivitas Aperture	(non dimensional)
	0.20 - untuk monitor vertikal
	0.33 - untuk saw-tooth yang menghadap utara
	0.50 - pencahayaan langit horizontal

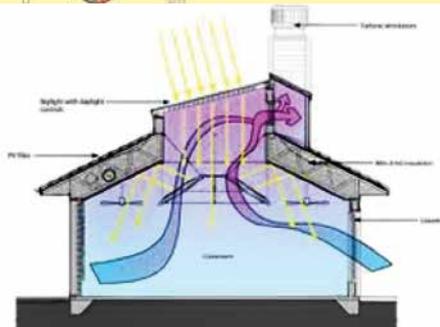
4.4 Ventilasi

Strategi-strategi untuk mendapatkan desain yang hemat energi adalah sebagai berikut:

- Mendorong penggunaan ventilasi alami sebagai metode utama dengan cara memaksimalkan matahari dan angin.
- Dengan memilih ventilasi mekanikal yang efisien dan sesuai saat metode alami tidak cukup.

Metode Primer: Ventilasi alami (energi gratis):

- Proses penyediaan atau perpindahan udara dari atau menuju ruang tertentu secara alami, melalui pertukaran udara dalam dengan udara luar.
- Metode ini memenuhi tiga fungsi :
 - » Untuk memenuhi kebutuhan udara bersih dari penghuni (ventilasi kesehatan).
 - » Untuk memperbesar tingkat hilangnya panas yang cukup dan dapat menguap dari tubuh (ventilasi kenyamanan).
 - » Untuk menyejukkan lingkungan dalam ruangan melalui pertukaran udara dalam ruangan dengan udara luar ruangan (pendinginan struktural).



Gambar 20. . Strategi Ventilasi Alami

- Mekanisme pertukaran termal: Konveksi.
- Berdasarkan: "Kondisi Dinamis" (kondisi dalam ruangan dan luar ruangan bervariasi secara tidak reguler).

Berikut strategi ventilasi alami:

► Memaksimalkan Ventilasi Silang:	Bergantung pada:
Daerah pembukaan ceruk yang bebas	(m ²)
Kecepatan angin	(m/detik)
Efektivitas bukaan-bukaan (tanpa dimensi)	0.5-0.6 untuk angin yang bergerak secara tegak lurus 0.25-0.35 untuk angin yang bergerak secara diagonal
► Memaksimalkan Efek Tumpukan:	Bergantung pada:
Daerah masukan dan keluaran (dianggap sama)	(m ²)
Tinggi dari inlets atau outlets	(M)
Suhu rata-rata udara dalam ruangan	(°C)
Suhu udara luar ruangan	(°C)
Konstanta proporsionalitas (tanpa dimensi)	4 untuk efektivitas pembukaan 65%- dan 7,2 untuk efektivitas pembukaan 50%

Metode Sekunder: Ventilasi Mekanikal (energi yang dibeli):

- Proses penyediaan atau perpindahan udara dari atau menuju ruang tertentu, melalui udara yang telah dikondisikan/ diperlakukan sedemikian rupa dengan menggunakan alat HVAC (*heating, ventilation, air conditioning* atau pemanasan, ventilasi, dan pendingin ruangan).
- Ini memenuhi berbagai fungsi yang harus dipelihara:
 - » suhu yang diinginkan
 - » kelembaban yang dapat diterima
 - » partikel debu sesedikit mungkin
 - » tingkat bau di bawah ambang batas
 - » keseragaman distribusi udara
- Berdasarkan: "Kondisi Tunak" (kondisi dalam ruangan dan luar ruangan telah ditentukan)
- Berikut strategi ventilasi mekanikal:
 - » Meminimalisasi beban pendinginan bangunan gedung
 - » Desain HVAC yang tepat dengan REE (Rasio Efisiensi Energi) yang lebih tinggi
 - » Inspeksi yang tepat untuk *testing commissioning*
 - » Proses yang tepat untuk operasional dan perawatan.



Gambar 21. Strategi Ventilasi Mekanikal



5. Prinsip-prinsip Desain Pasif Surya – Kondisi Iklim Panas dan Lembab (Panduan Desain)

Desain pasif surya digunakan untuk mengurangi konsumsi energi dan untuk memastikan adanya ruang-ruang nyaman melalui strategi desain dan sistem non-mekanikal. Iklim memainkan peran penting dalam desain bangunan gedung pasif surya. Pergerakan matahari, arah angin perubahan suhu dan kelembaban adalah kondisi lokal yang harus diperhitungkan karena bervariasi antara satu tempat ke tempat yang lain.

Aplikasi prinsip-prinsip desain pasif surya dapat mengurangi, atau bahkan menghapuskan, kebutuhan gedung akan pencahayaan artifisial atau HVAC mekanikal. Sebagai akibatnya, hal ini dapat mengurangi konsumsi energi yang diperlukan untuk pencahayaan dan pendinginan udara dalam bangunan gedung secara signifikan.

Solusi desain pasif yang baik memiliki landasan interaksi kompleks antara sejumlah aspek dari desain bangunan gedung dan performa bangunan gedung. Tim desain sebaiknya memakai proses desain keseluruhan bangunan gedung yang terintegrasi, karena ini akan membantu identifikasi ketergantungan-ketergantungan antar aspek. Dengan demikian, tim desain dapat menemukan solusi untuk semua kriteria, sekaligus menemukan peluang-peluang dan masalah-masalah yang dapat muncul.

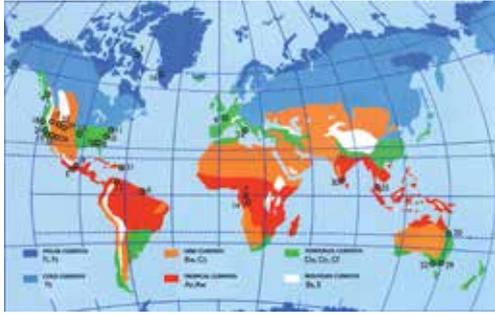
Aplikasi prinsip-prinsip desain pasif surya dapat mengurangi, atau bahkan menghapuskan, kebutuhan gedung akan pencahayaan artifisial atau HVAC mekanikal.

5.1 Pertimbangan Iklim

Indonesia terbentang dari 60° garis LU hingga 11° LS dan 94° garis BB hingga 141° BT. Iklim Indonesia berjenis angin musim khatulistiwa, yang sebagian besar ditentukan oleh perubahan tekanan udara yang terjadi di atas Australia dan Asia bagian sub-tropis. Angin musim khatulistiwa ini terdiri atas angin musim timurlaut yang terletak di bagian utara garis khatulistiwa dan angin musim tenggara yang terletak di bagian selatan garis khatulistiwa.

Angin musim timurlaut datang dari Samudera Pasifik dan Asia bagian timur dan berubah arah menjadi angin baratlaut yang bertiup di bagian selatan dari garis khatulistiwa. Angin ini kuat saat musim dingin di Asia, yaitu sekitar Desember hingga Maret, dan mendatangkan curah hujan ke sebagian besar wilayah di Indonesia pada periode tersebut.

Angin musim tenggara datang dari benua Australia dan berubah arah menjadi angin baratdaya yang bertiup di bagian utara dari garis khatulistiwa. Angin ini kuat saat musim dingin di Australia, yaitu sekitar Juni hingga September, dan mengakibatkan musim kering di sebagian besar wilayah Indonesia.



Gambar 22. Kondisi Iklim Khatulistiwa Indonesia

Variasi iklim lokal mempengaruhi distribusi radiasi matahari.

Iklim yang lembab dan hangat terdapat di wilayah antara 7° di bagian utara dan selatan garis khatulistiwa. Berikut karakteristik iklim yang lembab dan hangat:

- kelembaban yang relatif tinggi : 55% - 97%
- suhu rata-rata tinggi : 23°C – 33°C (bola kering)
- langit berawan
- langit yang menyilaukan
- curah hujan kuat : mencapai 2000 mm/tahun
- tumbuh-tumbuhan melimpah
- terdapat jamur yang menetap

5.2 Pertimbangan Lokasi

5.2.1 Iklim mikro

Kondisi cuaca yang terintegrasi dalam beberapa tahun pada umumnya disebut sebagai iklim, atau lebih spesifik, 'iklim makro'.

Sementara itu, iklim mikro merupakan zona atmosferik lokal dimana iklimnya cukup berbeda dari daerah sekitarnya. Istilah ini dapat mengacu pada wilayah sekecil 1 meter persegi (contohnya lahan perkebunan) ataupun sebesar puluhan kilometer persegi. Terdapat juga iklim mikro, contohnya, di dekat daerah tampungan air yang dapat mendinginkan atmosfer lokal, atau di daerah perkotaan yang padat dimana bata, semen, dan aspal menyerap energi matahari, memanaskannya, dan meradiasikan ulang panas tersebut ke udara ambien.

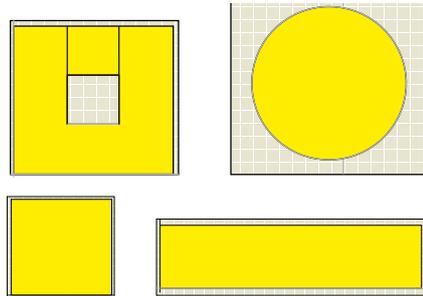
Bangunan gedung tinggi menciptakan iklim mikro sendiri, baik dengan menaungi daerah-daerah luasan lahan maupun dengan memberikan jalur untuk pergerakan angin menuju tingkat daratan. Efek angin di sekitar bangunan gedung tinggi dinilai sebagai bagian dari iklim mikro.

Perbaikan dari iklim mikro lokal pada saat musim kering, umumnya dalam hal penurunan suhu ambien, mengharuskan penurunan perolehan panas dan solar dan peningkatan dalam kehilangan termal.

Lansekap yang sesuai dengan menggunakan bahan-bahan yang dingin dan reflektif; tumbuh-tumbuhan; dan sumber air dapat berkontribusi besar dalam menurunkan suhu ambien.

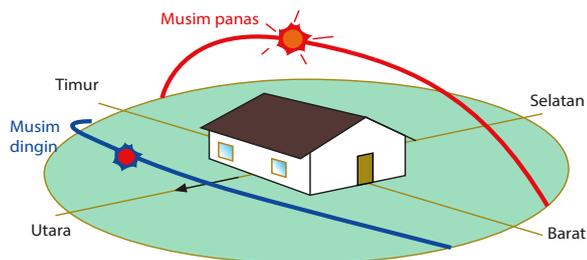
5.3 Bentuk dan Orientasi Bangunan Gedung

Orientasi bangunan gedung mengacu pada bagaimana sebuah bangunan gedung ditempatkan dalam satu lahan dan bagaimana posisi jendela, dinding, garis atap, dan fitur-fitur lain dari bangunan gedung tersebut. Sebuah bangunan gedung yang diorientasikan untuk desain posisi surya yang optimum mendapatkan keuntungan dari strategi pasif surya. Orientasi bangunan gedung dan bahan bangunan gedung juga memfasilitasi terciptanya iklim mikro dan pencahayaan alami.



Gambar 23. Bentuk Bangunan Gedung

Volume dari ruang dalam bangunan gedung yang perlu dipanaskan atau didinginkan dan hubungannya dengan luas selubung yang menutup volume tersebut mempengaruhi performa termal dari bangunan gedung tersebut. Parameter ini, yang dikenal sebagai rasio P/V (permukaan - berbanding - volume), ditentukan oleh bentuk bangunan gedung. Untuk volume



Gambar 24. Orientasi Bangunan Timur - Barat

bangunan gedung apapun, semakin padat bentuknya, maka semakin sedikit panas dari luar masuk ke dalam gedung.

Selain itu, bentuk bangunan gedung akan menentukan pola aliran udara di sekitar bangunan gedung, yang berpengaruh langsung terhadap ventilasi bangunan gedung tersebut. Kedalaman bangunan gedung juga menentukan kebutuhan akan pencahayaan artifisial – semakin dalam, maka semakin dibutuhkan pencahayaan artifisial. Geometri sirkuler memiliki rasio P/V paling rendah, sehingga konduksi yang dihasilkan selubung bangunan gedung dan sinar matahari yang diperoleh dari jendela menjadi paling kecil.

Dengan adanya upaya mencegah masuknya panas matahari ke dalam bangunan gedung, orientasi seluruh bangunan gedung memainkan peran penting. Orientasi ideal untuk wilayah dengan iklim panas dan lembab adalah untuk mempertahankan poros bangunan gedung yang panjang dari Timur ke Barat, karena ini akan mengurangi perolehan panas. Sebaliknya, bangunan gedung yang memiliki poros panjang dari Utara ke Selatan akan memiliki beban pendinginan yang lebih tinggi, sehingga membutuhkan alat pendinginan yang lebih besar, dan sebagai akibatnya, biaya energi akan menjadi lebih tinggi.

Guna meminimalisasi penggunaan energi untuk pendinginan, dan pencahayaan, maksimalisasi potensi desain pasif bangunan gedung sangat penting, yaitu dengan cara memposisikan bangunan gedung secara tepat.

- Letakkan poros bangunan gedung yang paling panjang di poros Timur-Barat.
- Kembangkan denah lantai yang meminimalisasi kaca yang menghadap Timur-Barat.
- Utamakan desain satu-lantai guna memaksimalkan cahaya alami dengan cara memperbesar perimeter batas pinggir fondasi bangunan gedung dan wilayah atap.
- Pada bangunan gedung yang memiliki lebih dari satu lantai, dengan cara meminimalisasi kedalaman ruangan guna memaksimalkan kontribusi cahaya alami.

5.4 Cahaya Alami

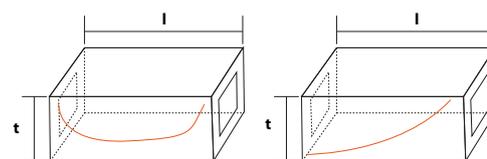
Selain menghemat energi, menggunakan cahaya alami dalam bangunan gedung juga menciptakan lingkungan yang atraktif serta

meningkatkan kesehatan penghuninya. Dalam memperhitungkan ketersediaan cahaya alami yang efektif dalam bangunan gedung dapat dilakukan melalui faktor-faktor cahaya alami rata-rata dan dengan memastikan bahwa penghuni memiliki pandangan langit yang mencukupi.

Faktor cahaya alami rata-rata akan dipengaruhi oleh ukuran dan luas jendela dibandingkan dengan luas ruangan, pancaran cahaya dari kaca, tingkat pencahayaan dan warna permukaan-permukaan interior, kedalaman bidang pemantul, dan keberadaan *overhangs* dan penghalang eksternal lainnya yang mungkin dapat membatasi atau menambah banyaknya cahaya alami yang masuk ke ruangan.

Harus dipahami bahwa cahaya alami berbeda dengan cahaya matahari langsung. Cahaya matahari langsung memiliki komponen panas tambahan selain komponen cahaya itu sendiri. Dengan demikian, cahaya alami merupakan cahaya yang memiliki transmisi tidak langsung dari matahari.

Desain jendela menjadi kunci keberhasilan pemanfaatan cahaya alami. Prinsip umumnya adalah sebuah jendela akan menyalurkan cahaya alami secara efektif ke dalam ruangan hingga jarak dua kali lebih panjang dari tinggi jendela. Penggunaan atap yang lebih tinggi dan jendela *clerestory* dapat menjadi solusi efektif untuk menyediakan cahaya alami yang cukup baik.



Gambar 25. Prinsip Cahaya Alami Dua-sisi dan Satu-sisi

Untuk pencahayaan matahari siang dengan dua-sisi (kiri), lebar ruangan (l) seharusnya sebesar 3 sampai 4 kali tinggi atap (t). Dalam kasus pencahayaan matahari siang dengan satu-sisi (kanan), lebar ruangan seharusnya hanya 1,5 sampai 2 kali tinggi.

5.5 Pemanasan dan Pendinginan Pasif

Terdapat dua kategori besar sistem pasif surya:

1. Konsep pemanasan pasif (sistem perolehan langsung, sistem perolehan

Cahaya matahari langsung memiliki komponen panas tambahan selain komponen cahaya itu sendiri. Dengan demikian, cahaya alami merupakan cahaya yang memiliki transmisi tidak langsung dari matahari.

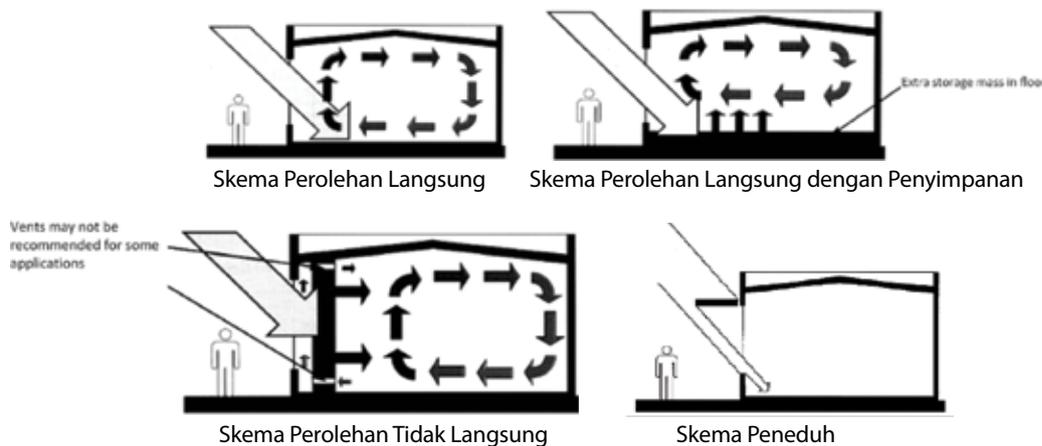


Figure 26. Peneduh Skematis

- tidak langsung, *sunspaces*, dll.)
2. Konsep pendinginan pasif (pendinginan dengan penguapan, ventilasi, menara angin, terowongan tanah-udara, dll.).

5.5.1 Konsep Pemanasan Pasif

Perolehan langsung adalah sistem pasif surya yang paling umum digunakan. Dalam sistem ini, cahaya matahari memasuki ruangan melalui jendela, dan menghangatkan ruang interior. Sistem perolehan langsung menggunakan 60-75% dari energi matahari yang mengenai jendela.

Dalam sistem perolehan tidak langsung, massa termal terletak di antara matahari dan ruang yang dihuni. Massa termal ini menyerap cahaya matahari yang mengenainya, dan mentransfer cahaya tersebut ke dalam ruang yang dihuni. Sistem perolehan tidak langsung menggunakan 30-45% dari energi matahari yang mengenai kaca yang melekat pada massa termal.

5.5.2 Konsep Pendinginan Pasif

Apabila tujuan dari sistem pemanasan pasif adalah untuk menarik panas ke dalam bangunan gedung, tujuan dari strategi pendinginan pasif adalah untuk menghilangkan atau melawan panas dari bangunan gedung. Sistem pendinginan pasif bergantung pada *heat-sinks* yang terdapat secara alami untuk menghilangkan panas dari bangunan gedung. *Heat-sinks* tersebut memperoleh pendinginan secara langsung dari penguapan, konveksi dan radiasi tanpa menggunakan alat elektrikal sebagai penghubung. Seluruh strategi pendinginan pasif bergantung pada perubahan sehari-hari dalam

suhu dan kelembaban relatif. Kemampuan aplikasi setiap sistem bergantung pada kondisi iklim.

Berikut adalah beberapa teknik sederhana yang dapat digunakan untuk menciptakan pendinginan alami dalam bangunan gedung:

- Pengurangan energi surya yang terkait dengan:
 - » Orientasi bangunan gedung
 - » Bayangan yang diciptakan bangunan gedung yang berdampingan
 - » Lansekap
 - » Perlengkapan peneduh jendela (contohnya kanopi)
 - » lapisan penutup permukaan
- Pengurangan transmisi panas dalam bangunan melalui:
 - » Isolasi termal
 - » Rongga udara

Strategi desain tersebut akan mengurangi perolehan panas dalam ruang internal.

5.6 Kelembaban dan Ventilasi Alami

Bentuk paling efektif dari ventilasi alami adalah ventilasi silang, dimana udara dapat melalui bangunan dari satu sisi ke sisi lain.

Untuk ruang interior yang lebih dalam, ventilasi alami dapat diciptakan dengan menggunakan *central aria* dan mempergunakan "efek tumpukan" untuk menarik udara dari lingkaran luar sehingga masuk melalui pertengahan bangunan gedung.

Untuk mencapai keberhasilan dalam memberikan ventilasi alami ke bangunan gedung, praktisi desain perlu memberikan perhatian lebih besar kepada lingkungan terdekat dengan gedung. Faktor-faktor penghalang, lansekap, sumber suara dan debu dari sekeliling, dan seluruh isu-isu iklim mikro harus dipertimbangkan.

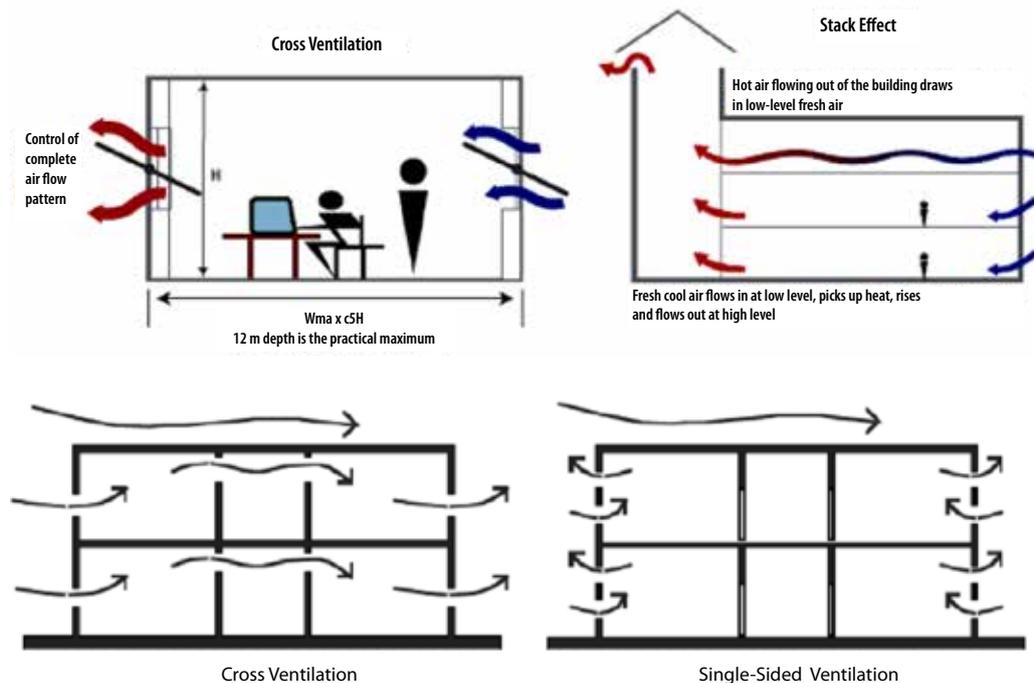
Ventilasi silang membutuhkan bukaan celah lebih dari satu sisi dalam bangunan gedung. Selanjutnya, angin akan menghasilkan tekanan-tekanan berbeda di antara celah-celah tersebut dan mengangkat aliran udara yang kuat melalui ruang internal. Ventilasi aliran silang menciptakan tingkat perubahan udara yang lebih tinggi dan dapat memberikan ventilasi ke *floor plate* (tapak lantai) yang lebih dalam (yaitu 5 x tinggi lantai-ke-atap). Dengan demikian, ventilasi silang adalah pilihan desain yang optimal.

Karena angin alami bertiup melintasi bangunan gedung, angin tersebut mengenai dinding dimana terdapat celah sumber masuknya angin, sehingga tercipta suatu tekanan positif langsung. Angin tersebut kemudian bergerak mengitari bangunan gedung dan meninggalkan dinding yang berlawanan dengan celah dengan tekanan negatif, yang juga dikenal sebagai efek penghisapan. Apabila terdapat celah apapun di dinding sumber masuknya angin ataupun di dinding tempat keluarnya angin, udara segar akan masuk melalui celah dinding masuk dan keluar di celah dinding keluar untuk menyeimbangkan dan

meringankan perbedaan tekanan antara dinding sumber masuknya angin dan dinding tempat keluarnya angin.

Ventilasi silang tidak dapat menggantikan kemampuan sistem tata udara atau pendingin ruangan untuk menghilangkan uap lembab. Ventilasi silang bergantung pada dua faktor utama yang dapat berubah secara terus menerus: ketersediaan angin dan arah angin. Sebagai akibatnya, ventilasi silang merupakan sumber yang kurang dapat diandalkan untuk memberikan kenyamanan termal. Terdapat kemungkinan diperlukannya kipas angin di langit sebagai tambahan terhadap ventilasi silang untuk membuat ruang tersebut lebih nyaman untuk dihuni orang. Selain itu, ventilasi alami kemungkinan tidak dapat diaplikasikan di lokasi dimana terdapat masalah kotoran, debu, atau kebisingan suara. Secara umum, ventilasi dapat dilihat pada Gambar 27.

Ventilasi alami dapat merupakan pilihan yang cocok apabila dibandingkan dengan sistem tata udara dalam iklim *sedang*, karena sifat malam hari yang sejuk dapat mendinginkan bangunan gedung sebelum pengguna gedung datang. Ventilasi alami bersifat *tidak efektif* dalam iklim *panas* dan *lembab*, dimana perubahan suhu antara malam hari dan siang hari relatif kecil. Untuk jenis iklim ini, ventilasi loteng (*stack effect*) dapat membantu mengurangi penggunaan pendingin ruangan.



Gambar 27. Jenis-jenis Sistem Ventilasi Alami

Ventilasi Alami tidak cocok untuk:

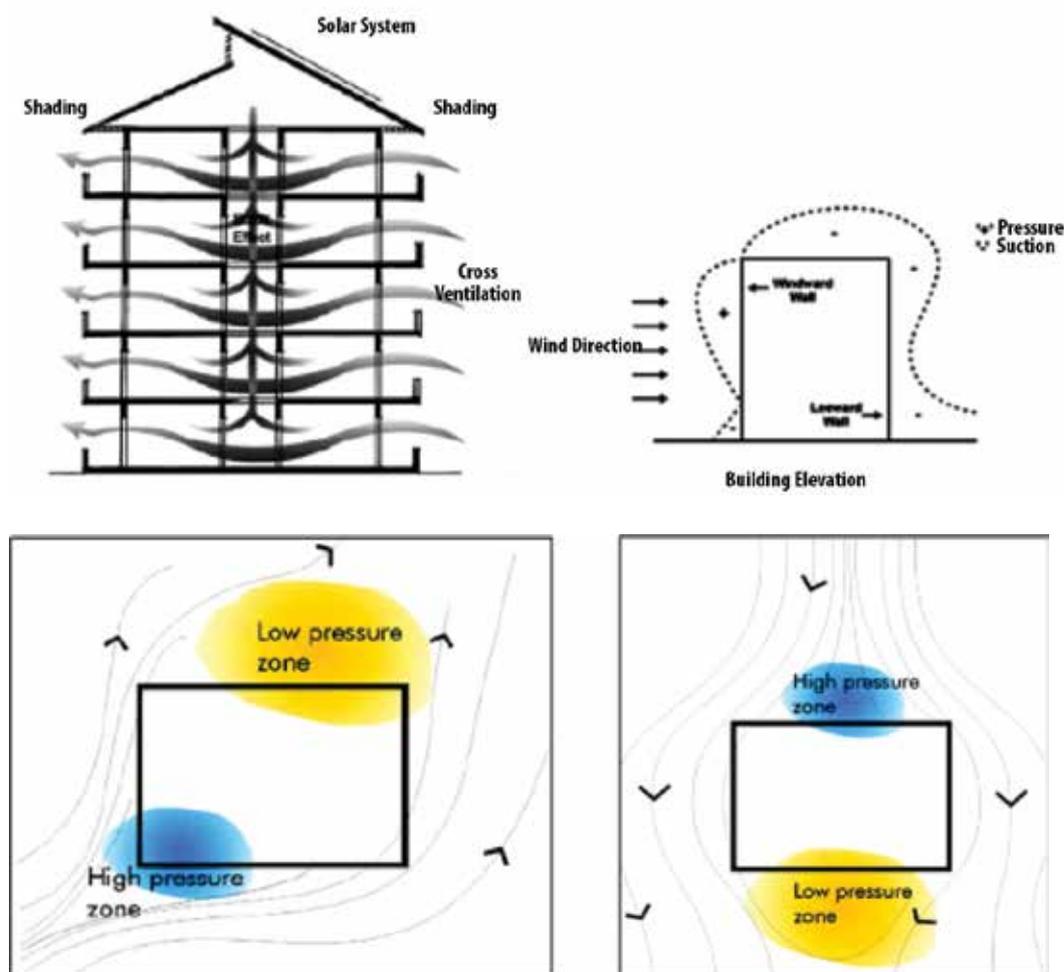
- Bangunan gedung dengan denah lantai yang dalam
- Bangunan gedung yang membutuhkan suhu spesifik dan kontrol kelembaban
- Bangunan gedung dengan kantor individu atau ruang-ruang kecil
- Bangunan gedung dengan beban panas terus-menerus di atas 35–40 W/m²
- Lokasi yang memiliki kualitas udara buruk
- Bangunan gedung di wilayah yang beriklim panas dan lembab

5.7 Lingkungan Bangunan dan Pemandangan

Lahan sekitar bangunan dengan permukaan keras yang luas seperti aspal dan tempat parkir dapat berkontribusi secara signifikan terhadap peningkatan suhu di sekitar bangunan gedung.

Hal ini disebut sebagai efek *urban heat island* dan panas yang tersisa, serta implikasi suhu udara yang lebih tinggi, membuat upaya pendinginan gedung lebih sulit. Hal ini dapat dihadapi dengan cara-cara berikut:

- Menghindari adanya lahan dengan permukaan eksternal keras yang luas di dekat bangunan gedung.
- Memberikan tempat berteduh untuk tempat parkir dan permukaan keras, sebaiknya dengan menggunakan tanam-tanaman seperti pohon yang besar.
- Menggunakan bahan berwarna lebih terang untuk mengaspal dan melapisi permukaan eksternal, agar tingkat penyerapan panas oleh permukaan dapat dikurangi.



Gambar 28. Angin yang bertiup melawan bangunan gedung menciptakan zona tekanan tinggi (High Pressure Zone) di sisi sumber masuknya angin (dinding yang menghadap arah angin) dan zona tekanan rendah (Low Pressure Zone) di sisi keluarnya angin (dinding yang menghadap arah berlawanan dengan arah angin)



6. Selubung Bangunan - Bangunan Gedung Baru dan Lama

Selubung bangunan atau kulit bangunan adalah filter antara lingkungan internal dan eksternal. Fungsinya adalah untuk melindungi ruangan dalam dari hal-hal yang tidak diinginkan, seperti dingin, panas, radiasi, dan angin dalam intensitas berlebihan, namun tetap memungkinkan masuknya hal-hal yang diinginkan, seperti angin sejuk di hari yang panas, kehangatan matahari di hari yang dingin, cahaya alami, dan sebagainya.

Selubung bangunan dapat mempengaruhi performa energi dari bangunan dalam hal berikut:

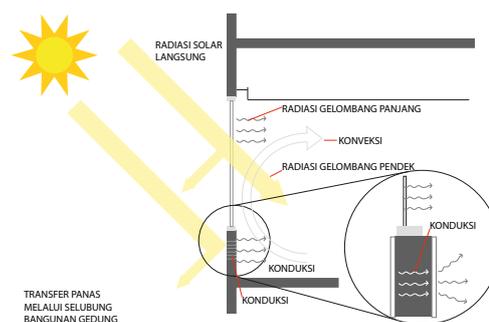
- Mencegah transfer panas yang tidak diinginkan.
- Memungkinkan transfer panas yang diinginkan.
- Memberikan tempat penyimpanan panas (penundaan transfer panas).
- Memungkinkan penetrasi cahaya alami.
- Mencegah penetrasi cahaya yang tidak diinginkan (silau).
- Memungkinkan ventilasi yang diinginkan.
- Mencegah ventilasi yang tidak diinginkan.

Selubung bangunan mempengaruhi efisiensi energi gedung secara signifikan. Hal ini dikarenakan selubung bangunan dan posisi gedung terhadap matahari menentukan beban termal eksternal. Untuk keterangan lebih lanjut, lihat kalkulasi OTTV. Bahan bangunan gedung diklasifikasikan ke dalam dua kategori: tidak tembus cahaya dan tembus cahaya. Bahan tidak

tembus cahaya adalah bahan-bahan yang tidak memungkinkan transmisi cahaya atau radiasi termal. Antara lain, bahan yang dimaksud adalah bata, semen, kayu, bahan logam/baja dan bahan isolasi. Sifat-sifat bahan bangunan tidak tembus cahaya yang relevan terhadap performa termal meliputi:

- Daya konduksi termal
- Daya hambat termal
- Kapasitas panas spesifik
- Kepadatan

Bahan-bahan tembus cahaya adalah bahan yang memungkinkan transmisi cahaya atau radiasi termal. Antara lain, contoh bahan tembus cahaya adalah kaca dan plastik yang digunakan dalam jendela, gorden dinding, dan kaca atap. Selain sifat-sifat bahan tidak tembus cahaya, penting juga untuk mengetahui daya transmisi dari bahan tembus cahaya.



Gambar 29. Perolehan Panas Eksternal dari Bahan Tembus Cahaya

6.1 Sifat Bahan

6.1.1 Komponen Pemandahan Panas

Konduksi

Konduksi adalah perpindahan energi di antara dua obyek yang memiliki kontak fisik. Konduksi hanya dapat terjadi apabila terdapat perbedaan suhu antar obyek satu dengan objek yang lain. Konduksi dapat terjadi pada dinding, atap, dan jendela di mana radiasi matahari akan memanaskan satu sisi dari bahan. Dengan demikian, penggunaan bahan yang lebih insulatif untuk mengurangi beban pendinginan sangat direkomendasikan. Secara umum, semakin tebal dan padat suatu bahan, semakin insulatif bahan tersebut.

Konveksi

Konveksi adalah perpindahan energi di antara obyek dan lingkungannya, disebabkan adanya gerakan zat cair atau gas. Pemandahan panas dengan selubung bangunan pada umumnya tidak meliputi konveksi, namun konveksi dapat terjadi apabila kedekatan udara dalam selubung bangunan tidak baik, sehingga menciptakan infiltrasi udara dari luar.

Radiasi

Radiasi adalah perpindahan energi dari atau menuju suatu obyek melalui emisi atau penyerapan radiasi elektromagnetik. Kaca biasa dengan ketebalan tunggal menyerap sekitar 6% dari panas matahari dan sisanya direfleksikan atau ditransmisikan.

Jumlah yang direfleksikan atau ditransmisikan bergantung pada sudut kejadian, yaitu sudut antara jendela dan sinar matahari. Pada sudut kejadian yang rendah, sekitar 86% dari panas matahari ditransmisikan. Semakin tinggi sudut, semakin sedikit panas yang ditransmisikan. Contohnya, saat sudut kejadian 80°, hanya 42% dari panas matahari yang ditransmisikan.

6.1.2 Sifat Termal dari Bahan

Nilai-k (Konduktansi) [W/mK]

Kemampuan bahan untuk mengkonduksikan panas dihitung dengan nilai konduksi termalnya, atau nilai-k (atau nilai- λ). Nilai-k dari suatu bahan didefinisikan sebagai jumlah panas yang terkonduksi melalui bahan dalam kondisi stabil dalam satuan waktu, di saat terdapat perbedaan

suhu di antara permukaannya yang berlawanan. Bahan yang lebih insulatif memiliki nilai-k yang lebih rendah.

Nilai-R (Resistansi Termal) [m^2K/W]

Nilai-R adalah kebalikan dari nilai-U, dan dapat didefinisikan sebagai waktu yang dibutuhkan untuk perpindahan satu unit panas melalui satuan luas bahan dengan satuan ketebalan, di saat terdapat perbedaan suhu unit di antara permukaan yang berlawanan. Dengan demikian, semakin insulatif sifat bahan, semakin tinggi nilai-R.

Nilai-U (Transmitansi Termal) [W/m^2K]

Transmitansi termal atau nilai-U dari suatu bahan dapat didefinisikan sebagai jumlah panas yang mengalir melalui satuan luas dari bagian bangunan gedung dalam kondisi stabil dalam satuan waktu per satuan perbedaan suhu udara di kedua sisi bagian. Semakin insulatif bahan, semakin rendah nilai-U.

Nilai- α (Absorptansi Termal)

Absorptansi matahari adalah pengukuran jumlah energi matahari yang masuk ke dalam bahan. Hal ini didefinisikan sebagai kemampuan bahan untuk menyerap cahaya gelombang pendek yang tampak. Absorptansi sinar matahari bergantung pada warna, dan tidak dipengaruhi oleh jenis bahan. Bahan yang berwarna lebih gelap memiliki daya penyerapan lebih tinggi dan akan menyerap lebih banyak energi matahari. Untuk mengurangi penggunaan energi, pertimbangkanlah penggunaan bahan dengan warna yang lebih terang.

6.2 Kategori Selubung

Untuk mencapai efisiensi energi pada bangunan gedung, ditentukan suatu standar desain untuk menentukan nilai selubung bangunan, yaitu *Overall Thermal Transfer Value* (OTTV) atau Nilai Perpindahan Termal secara Menyeluruh. Syarat-syarat OTTV hanya berlaku pada gedung yang memiliki pendingin ruangan, dengan tujuan menciptakan desain selubung bangunan yang terisolasi secara cukup, guna mengurangi perolehan panas eksternal dan beban pendinginan yang ditanggung sistem pendingin ruangan. Konsep OTTV mempertimbangkan tiga elemen utama dari perolehan panas melalui dinding eksternal bangunan gedung:

Untuk mencapai efisiensi energi dalam bangunan gedung, ditentukan suatu standar desain untuk mendapatkan nilai selubung bangunan, yaitu Overall Thermal Transfer Value (OTTV) atau Nilai Perpindahan Termal secara Menyeluruh.

- Konduksi panas melalui dinding tidak tembus cahaya
- Konduksi panas melalui jendela kaca
- Radiasi matahari melalui jendela kaca

Untuk fungsi konservasi energi, Standar Nasional Indonesia (SNI) menentukan bahwa OTTV maksimum yang diperbolehkan adalah 35 W/m². Kategori dan bahan selubung berikutnya dideskripsikan berdasarkan referensi SNI 6389:2011 dan ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1-2004.

6.2.1 Dinding

Untuk memenuhi standar desain OTTV, dinding harus didesain berdasarkan pertimbangan-pertimbangan berikut:

- Nilai Absorptansi Termal dari dinding eksternal (nilai α) Tanpa dimensi
- Transmittansi Termal dari dinding tidak tembus cahaya ($U_{DINDING}$) W/m² K
- Rasio jendela ke dinding (luas jendela/luas bruto dinding eksterior) WWR Tanpa dimensi
- Perbedaan Suhu Ekuivalen (Sepadan) untuk Dinding (TD_{EK}) °K
- Faktor Matahari (*Solar Factor*) SF W/m²

6.2.2 Atap

Untuk memenuhi standar desain OTTV, desain atap harus ditentukan berdasarkan pertimbangan berikut:

FAKTOR MATAHARI (SF) UNTUK BERBAGAI ORIENTASI DI INDONESIA								
Orientasi	U	TL	T	TG	S	BD	B	BL
Faktor matahari (W/m ²)	130	113	112	97	97	176	243	211

Tabel 4. Faktor Matahari untuk Berbagai Orientasi di Indonesia

PERSYARATAN SELUBUNG BANGUNAN UNTUK ZONA IKLIM HANGAT DAN LEMBAB		
Elemen tidak tembus cahaya	NON RESIDENSIAL	
	Assembly Maks. Nilai - U (W/m ² K)	Isolasi Min. Nilai - R (W/m ² K)
- Dinding, massa kelas atas	3.293	NR
- Bangunan Gedung Logam	0.642	23
- Kerangka baja	0.705	23
- Kerangka kayu, dll.	0.504	NR
- Dinding kelas bawah	6.473 (C)	NR

NILAI ABSORPTANSI TERMAL DARI DINDING EKSTERNAL	
Lapisan Permukaan dan Bahan Dinding	Nilai Absorptansi
Bahan	(α)
Beton	0,61-0,91
Bata	0,56
Papan aluminium mengkilat	0,12
Cat hitam	0,95
Cat putih - perak mengkilat	0,25
Cat hijau muda	0,47
Cat coklat tua, biru tua, abu-abu tua	0,88-0,91
Cat hijau, kuning, biru	0,57

PERBEDAAN SUHU EKUIVALEN UNTUK DINDING	
Massa dinding / satuan luas (kg/m ²)	TD eq. (K)
0 - 125	15
126 - 195	12
> 195	10

- Nilai Absorptansi Termal atap (nilai α) Tanpa dimensi
- Luas atap A_R m²
- Luas kaca atap A_S m²
- Transmittansi Termal Atap tidak tembus cahaya (U_{WALL}) W/m² K
- Transmittansi Termal Kaca Atap ($U_{SKYLIGHT}$) W/m² K
- Koefisien Peneduh Kaca Atap SC Tanpa dimensi
- Faktor Matahari SF W/m² (Horizontal = 316 W/ m²)
- Perbedaan Suhu Ekuivalen untuk Atap (TDEK) °K (=50)

NILAI ABSORPTANSI TERMAL UNTUK ATAP	
Lapisan permukaan dan Bahan Atap	Nilai Penyerapan
Material	(α)
Beton	0,61-0,91
Atap putih	0,50
Seng putih	0,26
Papan aluminium mengkilat	0,12
Cat hitam	0,95
Cat putih - perak	0,25
Cat hijau muda	0,47
Cat coklat tua, biru tua, abu tua	0,88-0,91
Cat hijau, kuning, biru	0,57

Untuk bangunan gedung yang diberi pendingin ruangan, faktor-faktor ini harus terintegrasi dengan baik dengan kaca dan peneduh untuk memiliki jendela yang memiliki performa tinggi dalam mengurangi beban pendinginan bangunan gedung tersebut.

WWR yang lebih tinggi mengakibatkan OTTV yang lebih tinggi, sehingga lebih banyak energi akan dibutuhkan untuk sistem pendingin ruangan

6.2.4 Ventilasi

Lihat teknologi desain pasif di bab. 4.4 dan 5.6.

6.2.5 Akses

Saat membuat rencana akses gedung, potensi pertukaran panas yang akan terjadi di titik-titik akses ini diakibatkan oleh panas konveksi hal ini supaya diperhatikan untuk dipertimbangkan. Konveksi adalah pemindahan energi antara obyek dan lingkungannya, akibat gerakan zat cair atau gas. Desain jalan masuk yang terbuka memungkinkan adanya kontak antara ruang internal yang telah diberi pendingin ruangan dengan kondisi iklim eksternal yang mungkin tidak diinginkan. Penggunaan penutup pintu otomatis, pendeteksi gerakan elektronik bersamaan dengan pembuka dan penutup pintu, pintu berputar, sekaligus sistem pintu yang yang memproteksi udara luar masuk ke dalam gedung sebaiknya dipertimbangkan.

6.2.6 Cahaya Alami

Lihat teknologi desain pasif di bab. 4.3 dan 5.4.

6.2.7 Kaca

Untuk memenuhi standar desain OTTV, kaca jendela harus didesain berdasarkan pertimbangan berikut:

• Transmittansi Cahaya	LT	Tanpa dimensi
• Transmittansi Termal (konduksi)	U	W/m ² K
• Koefisien Peneduh dari kaca (radiasi)	SC _{GLASS}	Tanpa dimensi

Transmittansi Cahaya yang lebih tinggi memungkinkan cahaya alami untuk masuk dan menembus ruang, sehingga penggunaan pencahayaan artifisial tidak dibutuhkan.

TRANSMITANSI TERMAL DARI ATAP	
Berat / luas atap (kg/m ²)	Maksimum Nilai - U (W/m ² K)
< 50 (genteng keramik)	0,40
50 – 230 (beton ringan)	0,80
> 230 (atap beton 15cm/lebih)	1,20

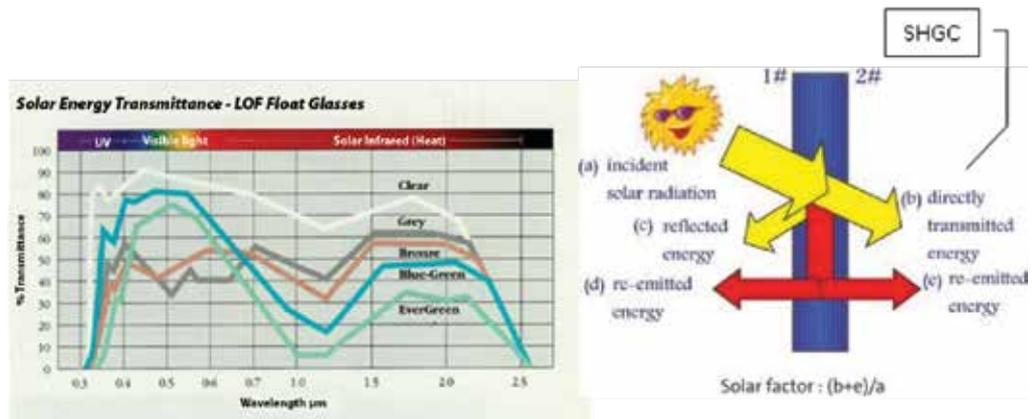
PERBEDAAN SUHU EKUIVALEN UNTUK ATAP	
Weight / Roof area (kg/m ²)	TD eq. (K)
< 50 (genteng keramik)	24
50 – 230 (beton ringan)	20
> 230 (atap beton 15cm/lebih)	16

6.2.3 Pembukaan celah

Untuk memenuhi standar desain OTTV, desain pembukaan celah harus didasarkan atas beberapa pertimbangan:

- Rasio Jendela-ke-dinding (luas jendela/luas total dinding)WWR Tanpa dimensi
- Orientasi (Faktor Matahari) SF W/m²

lihat Tabel 4 (SNI 6389:2011)



Gambar 30. Koefisien Perolehan Panas Matahari (Solar Heat Gain Coefficient/ SHGC)

Transmitansi Termal yang lebih rendah dengan Koefisien Peneduh yang lebih rendah akan mengurangi beban pendinginan HVAC, sehingga meningkatkan tingkat efisiensi energi dalam bangunan gedung

Konsep dari Koefisien Perolehan Panas Matahari sebagai fraksi [energi yang ditransmisikan langsung dibagi dengan total radiasi matahari yang berlangsung, dapat digunakan untuk memenuhi kriteria OTTV.

Hubungan antara SHGC dan SC dapat diformulasikan sebagai: $SHGC = SC \times 0,87$.

6.2.8 Peneduh

Untuk memenuhi standar desain OTTV, peneduh jendela harus didesain berdasarkan pertimbangan berikut:

- Koefisien Peneduh kanopi (radiasi) $SC_{EFFECTIVE}$ Tanpa Dimensi
- Total Koefisien Peneduh dari sistem fenestras: $SC_{TOTAL} = SC_{GLASS} \times SC_{EFFECTIVE}$



Gambar 31. Memperkecil Koefisien Peneduh dengan Menggunakan Peralatan Peneduh

Penggunaan alat-alat peneduh memperbaiki nilai SC atau dengan kata lain memperkecil Koefisien Peneduh, yang selanjutnya akan menurunkan nilai OTTV.

6.2.9 Kecedapan udara

Kecedapan udara merupakan konsep yang penting saat melakukan pertimbangan untuk memakai pendingin ruangan dalam bangunan gedung. Terjadinya infiltrasi dan konveksi merupakan kontribusi utama terhadap pendingin ruangan yang tidak efektif – kecedapan udara merupakan solusi terhadap masalah ketidakefektifan ini. Namun demikian, kebutuhan akan udara segar tetap harus diperhitungkan secara teliti saat membuat sebuah bangunan gedung kedap udara.

Konveksi adalah pemindahan energi antara obyek dan lingkungan, diakibatkan gerakan zat cair atau gas. Infiltrasi adalah gerakan fisik dari udara luar melalui celah-celah dalam selubung sampai ke dalam gedung, sehingga konveksi dapat berlangsung.



Gambar 32. Kecedapan Udara dari Bangunan Gedung



7. Simulasi Performansi Energi – Bangunan Gedung Baru dan Lama

Terdapat dua cara dasar dalam mempraktekkan simulasi performansi energi pada bangunan gedung. Pertama, melalui rangkaian kalkulasi fisik, yaitu:

- a. Analisis OTTV
- b. Beban alat-alat listrik melalui kotak kontak
- c. Beban pencahayaan
- d. Transportasi Bangunan Gedung
- e. Faktor-faktor yang menuju pengurangan beban AC
- f. Pertimbangan beban parsial
- g. Kalkulasi Indeks Efisiensi Bangunan Gedung
- h. Zona Pencahayaan
- i. Kemungkinan penggunaan energi terbarukan
- j. Performansi Efisiensi Energi

Kedua, melalui *computer modeling*. Seiring dengan meningkatnya ketergantungan industri terhadap komputer, *computer modeling* menjadi semakin populer. *Modeling* energi dalam komputer memiliki keuntungan tambahan dalam hal lebih cepat dan lebih teliti dibandingkan kalkulasi fisik. Hal ini memungkinkan tim desain untuk bekerja lebih cepat dalam membuat berbagai pilihan desain yang berbeda, sehingga dampak dan hasil performansi efisiensi energi dapat terlihat.

7.1 Elemen-elemen Simulasi (Computer Modeling)

7.1.1 Data lokasi dan cuaca

Syarat utama untuk keberhasilan simulasi performansi energi atau pencahayaan bangunan adalah adanya data kondisi cuaca yang relevan dan komprehensif. Data cuaca seringkali digabungkan ke dalam database yang mencakup data per jam untuk berbagai parameter data meteorologi tahunan. Metodologi dan format standar untuk persiapan database tersebut telah dibentuk oleh pengembang perangkat lunak, dan disebut TMY2 (*Typical Meteorological Year 2*). Dalam mempersiapkan berkas TMY2 untuk lokasi spesifik, data per jam untuk setiap tahun (dengan jumlah tahun sebanyak mungkin) harus disatukan dan dianalisis untuk menentukan nilai rata-rata setiap bulan.

Selanjutnya, data bulan yang paling representatif untuk setiap bulan dalam tahun kemudian dipilih, dan digunakan untuk membangun data per jam selama satu 'tahun'. Hari pertama dan terakhir untuk setiap bulan kemudian dimodifikasi untuk memperhalus transisi dari satu bulan ke bulan berikutnya. Dengan cara ini, parameter-parameter data yang berbeda dapat disimpan bersama untuk satu jam, sementara variasi realistik yang terjadi setiap bulan juga masih dipertahankan.

Ukuran peralatan HVAC membutuhkan simulasi untuk kondisi paling ekstrim, dimana kondisi iklim dalam ruang mungkin harus dipenuhi.

Arsip TMY2 tersedia dan siap pakai untuk banyak lokasi di seluruh dunia. Meskipun demikian, ketersediaan arsip cuaca untuk Indonesia masih relatif tidak jelas, dan untuk banyak daerah arsip cuaca tersebut masih harus dikembangkan, terutama karena adanya variasi iklim di seluruh Indonesia. Paket perangkat lunak yang berbeda menggunakan format arsip cuaca yang berbeda, namun sebagian besar mencakup paket penerjemahan yang memungkinkan penerjemahan arsip TMY2 ke format yang dibutuhkan. Data cuaca yang dibutuhkan oleh paket tertentu bergantung pada pendekatan yang dipakai dalam *modeling* aliran panas dan proses pencahayaan yang berbeda. Pada umumnya data yang dibutuhkan meliputi:

- Suhu udara bola kering
- Suhu udara bola basah
- Kelembaban relatif
- Tekanan atmosfer
- Kecepatan angin
- Arah angin
- Radiasi normal langsung
- Radiasi horizontal terdifusi
- Radiasi inframerah horizontal

Lokasi didefinisikan berdasarkan garis bujur dan garis lintang, sekaligus berdasarkan tinggi di atas permukaan laut. Informasi lain yang mungkin dibutuhkan mencakup suhu daratan pada kedalaman berbeda.

7.1.2 Data Pembangunan Gedung

Bangunan gedung perlu didefinisikan, baik berdasarkan geometri selubung maupun jenis bahan. Antarmuka untuk input informasi merupakan pertimbangan penting dalam memilih program simulasi. Di salah satu ujung spektrum, terdapat program seperti EnergyPlus dimana seluruh input dilakukan dengan teks. Setiap simpul permukaan gedung perlu ditulis dalam koordinat *Cartesian*, sehingga mengkonsumsi banyak waktu dan merupakan proses yang sangat panjang. Program-program lain menyediakan alat grafis untuk input geometri, mirip dengan peralatan CAD. Beberapa program lain memungkinkan impor geometri dasar sebagai dokumen DXF dari program CAD seperti AutoCad. Definisi bahan-bahan pada umumnya didukung oleh perpustakaan yang memiliki komponen standar dan kombinasi komponen, yang dapat diubah oleh pengguna.

7.1.3 Hunian dan Peralatan

Hunian bangunan gedung dan peralatan yang akan digunakan perlu dispesifikasi, termasuk waktu hunian dan penggunaan peralatan. Umumnya, data ini dispesifikasikan dengan jadwal, sehingga waktu hunian dan waktu permulaan serta pemberhentian penggunaan peralatan dapat diketahui. Konsumsi daya listrik dan efisiensi peralatan perlu didefinisikan untuk menentukan produksi panas. Definisi peralatan mungkin akan mencakup spesifikasi peralatan HVAC, tergantung pada tujuan dilaksanakannya simulasi. Simulasi awal dilakukan untuk menguji opsi-opsi selubung yang berbeda dapat dilakukan tanpa spesifikasi peralatan HVAC. Sebagai gantinya, dapat digunakan laporan suhu ruangan 'mengambang', atau definisi energi pemanasan dan pendinginan yang diperlukan untuk mencapai kondisi lingkungan dalam ruangan. Sistem tata cahaya juga perlu didefinisikan. Sekali lagi, terdapat pilihan untuk mendefinisikan tataruang pencahayaan sesungguhnya, program komputer memungkinkan untuk menghitung sendiri beban, atau mendefinisikan target tingkat pencahayaan dan mengizinkan program untuk menentukan beban pencahayaan untuk mencapai target tersebut. Dalam hal ini, kontribusi cahaya alami melalui jendela dan celah-celah lainnya juga akan ditentukan oleh program apabila fasilitasnya tersedia.

7.1.4 Simulasi

Percobaan simulasi dapat dilakukan setelah memasukkan seluruh informasi yang diperlukan, yaitu berhubungan dengan iklim, lokasi, bangunan gedung, hunian dan peralatan. Umumnya sejumlah simulasi akan dilakukan untuk setiap skenario untuk menguji efek dari perubahan satu atau lebih parameter. Simulasi berbeda dalam setiap kasus dapat meliputi kondisi iklim yang berbeda, contohnya dalam minggu-minggu musim dingin dan musim panas, dan sepanjang tahun, tergantung pada tujuan dari simulasi. Ukuran peralatan HVAC membutuhkan simulasi untuk kondisi paling ekstrim, dimana kondisi iklim dalam ruang mungkin harus dipenuhi.

7.1.5 Hasil Laporan

Hasil laporan dapat berbentuk dokumen teks yang kemudian dapat diimpor ke program excel

untuk pemrosesan lebih lanjut (seperti dalam EnergyPlus), atau program itu sendiri dapat menghasilkan laporan output tabel atau grafis. Sangat penting untuk mempertimbangkan informasi apa yang relevan dalam tahapan proses desain apapun, dan bagaimana menggunakan informasi tersebut untuk mendapatkan keuntungan maksimal. Hal ini akan dibahas lebih lengkap di bagian-bagian berikutnya dalam buku ini.

7.1.6 Analisis

Hasil dari simulasi dapat dianalisis dengan berbagai cara, tergantung tujuan dari simulasi. Umumnya, indikasi yang telah dipilih dapat dipetakan dalam grafik untuk berbagai simulasi, guna mengilustrasikan dampak dari mengubah parameter-parameter berbeda. Di kasus lain, mungkin lebih tepat untuk mempresentasikan hasil dalam format tabel, contohnya saat hasil tersebut akan digunakan untuk perhitungan lebih lanjut.

7.2 Tahap Desain Awal

Terdapat banyak program perangkat lunak simulasi performansi energi yang dapat memberikan ide dan gambaran umum mengenai performansi gedung berdasarkan desain dan kondisinya.

Dengan menggunakan perangkat lunak komputer sebagai model untuk simulasi energi, pengembang dan pemilik bangunan gedung memiliki kesempatan untuk memilih alternatif dalam pembuatan keputusan, sementara arsitek, ahli teknik, dan konsultan dapat memilih bahan bangunan yang paling cocok, peralatan mekanikal dan elektrikal, dan metode pembangunan.

Yang akan dilakukan dalam tahap persiapan desain dapat mencakup:

- a. Menemukan tempat dan lokasi yang sesuai untuk bangunan gedung.
- b. Mempertimbangkan dampak dari lingkungan dan iklim.
- c. Memenuhi standar dan regulasi bangunan gedung.
- d. Memilih bahan bangunan yang ramah lingkungan.
- e. Memilih sistem/metode pelaksanaan proyek yang sesuai.
- f. Menggunakan analisis siklus-hidup.

Yang akan dilakukan dalam tahap persiapan desain:

- a. Menghitung OTTV
- b. Menganalisis konsumsi energi bangunan.
- c. Melaksanakan analisis keuntungan-biaya (*cost-benefit*) dan perhitungan periode *payback*.

7.2.1 Metode Perhitungan

Awal paling pokok dalam setiap memulai proyek adalah bagaimana bisa mengelola cahaya matahari dengan tepat dan sebaik-baiknya. Untuk kasus gedung yang didominasi beban kulit bangunannya tinggi, maka cahaya matahari langsung dicegah sebesar mungkin namun cahaya alami diusahakan masuk seoptimal mungkin. Periode waktu yang tepat dan iklim yang sesuai agar menjadikan inputan dalam kalkulasi komputer menjadi akurat. Pencegahan panas matahari yang terkendali membentuk orientasi bangunan gedung, bentuk *massive* bangunan, dan lokasi celah (jendela dan kaca atap). Respons terhadap matahari juga dipengaruhi oleh orientasi atap dan penempatan lubang angin dan peralatan, karena hal-hal tersebut mempengaruhi performansi pemanfaatan energi matahari dan alat pembangkit tenaga listrik. Langkah pertama dalam perhitungan adalah analisis nilai pemindahan termal secara menyeluruh (OTTV).

7.2.2 Alat Simulasi

Perhitungan OTTV didasarkan pada Standar Nasional Indonesia (SNI 03-6389-2011) – Konservasi Energi untuk Selubung Bangunan Gedung. Analisis ini membutuhkan grafik matahari untuk lokasi tempat secara spesifik, berbagai tabel koefisien seperti absorptansi matahari, nilai-U, konduktansi termal, resistansi termal, dan koefisien peneduh.

7.3 Tahap Desain Terinci

Dalam tahap ini, arsitek, tim teknis dan konsultan akan menyediakan:

- a. Kebutuhan dan jadwal untuk bahan bangunan
- b. Perhitungan teknik yang terinci
- c. Gambar-gambar pembangunan gedung
- d. Dokumentasi kontrak yang lengkap, mencakup prosedur pengujian dan pengawasan
- e. Pedoman operasi dan pemeliharaan bangunan gedung

7.3.1 Metode Perhitungan

Metode perhitungan yang tersedia untuk ahli desain dalam tahap desain terinci:

Dengan menggunakan perangkat lunak komputer sebagai model untuk simulasi energi, pengembang dan pemilik bangunan gedung memiliki kesempatan untuk memilih alternatif dalam pembuatan keputusan, sementara arsitek, ahli teknik, dan konsultan dapat memilih bahan bangunan yang paling cocok, peralatan mekanikal dan elektrikal, dan metode pembangunan.

Untuk mengevaluasi ketergantungan dari kriteria performa terhadap sistem teknis, bahan dan bentuk, penilaian performa bangunan gedung sebaiknya diintegrasikan tanpa batas ke dalam proses desain.

- a. OTTV
- b. Beban pendinginan
- c. Daya dan pencahayaan
- d. Konsumsi energi bangunan gedung
- e. Biaya investasi dan konstruksi
- f. Tingkat pengembalian

7.3.2 Alat Simulasi

Alat simulasi yang tersedia untuk ahli desain saat tahap desain terinci:

- a. Simulasi cahaya alami
- b. Simulasi HVAC
- c. Simulasi energi

7.4 Verifikasi Performansi

Setelah bangunan gedung telah didesain dengan pendekatan efisiensi energi dan telah mulai beroperasi, bangunan gedung tersebut sebaiknya diaudit dan diperiksa secara periodik.

Untuk sebagian besar bangunan gedung, verifikasi performansi dibutuhkan untuk memperbaharui sertifikat hunian, dan sertifikat tersebut wajib untuk semua bangunan gedung. Pemeriksaan periodik, berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 36 Tahun 2005 tentang Peraturan pelaksanaan Undang-Undang tentang nomor 28 tahun 2002 tentang Bangunan Gedung, harus dilakukan setiap 5 tahun, kecuali untuk perumahan, yang harus melakukan pemeriksaan periodik setiap 20 tahun.

7.5 Parameter Modeling

Akibat peningkatan kesadaran terhadap perubahan iklim dan dampaknya terhadap peraturan bangunan gedung, ahli desain bangunan gedung sekarang harus lebih mempertimbangkan performansi energi dari desain bangunan gedung mereka. Saat ini, simulasi performansi sebagian besar dilakukan setelah tahap desain sehingga tidak terintegrasi dalam proses pembuatan keputusan dalam desain. Untuk mengevaluasi ketergantungan dari kriteria performansi terhadap sistem teknis, bahan dan bentuk, penilaian performansi bangunan gedung sebaiknya diintegrasikan tanpa batas ke dalam proses desain. Dengan pendekatan ini, kapasitas penyimpanan informasi multi-disiplin yang dimiliki oleh model informasi gedung dapat digunakan untuk mengakses parameter yang dibutuhkan untuk perhitungan performansi. Selain untuk perhitungan neraca energi, konsep energi juga digunakan untuk evaluasi kualitas sumber energi, sehingga meningkatkan

fleksibilitas dalam perhitungan dalam optimalisasi desain bangunan gedung. Alat prototipe yang terintegrasi dengan perangkat lunak modeling informasi gedung memungkinkan untuk menghitung konsumsi energi sesaat dan visualisasi grafik dari indeks performansi yang dihasilkan.

Contohnya, saat mendesain penukar panas EAHX (*earth - to - air heat exchanger*), akan diperkenalkan metode umum untuk membandingkan EAHX dalam operasional. Pertama, perilaku suhu dideskripsikan melalui pemetaan seiringan dengan waktu dan garis karakteristik, kemudian dibandingkan dengan kurva durasi yang terstandarisasi. Kedua, perolehan energi terilustrasi dalam grafik yang terstandarisasi. Ketiga, model parametrik dapat digunakan untuk menyediakan kriteria efisiensi umum. Efisiensi termal didefinisikan dengan perilaku suhu dinamis dan performansi energi sekaligus.



8. Sistem Bangunan Gedung – Bangunan Gedung Lama dan Baru

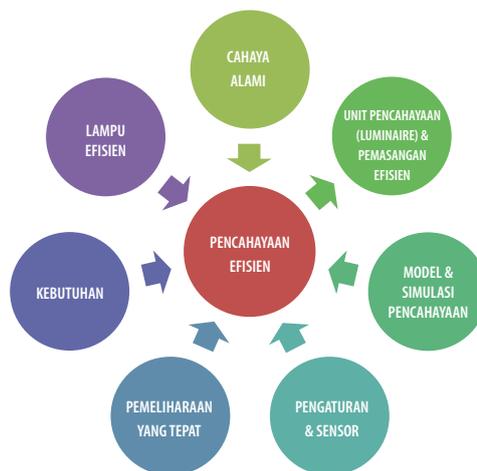
Bangunan gedung dalam iklim tropis seperti Indonesia pada umumnya memiliki karakteristik konsumsi energi yang sama, dengan sebagian besar energi digunakan untuk HVAC, kemudian pencahayaan, dan terakhir sistem dan sub-sistem lainnya dalam bangunan gedung. Dalam bahasan ini, akan ditampilkan cara-cara untuk mencapai efisiensi energi lebih tinggi melalui desain dan pengawasan yang lebih baik, dengan mempergunakan teknologi baru dan operasi dan pemeliharaan yang tepat.

8.1 Pencahayaan Artifisial (Listrik)

Sistem pencahayaan artifisial (listrik) terdiri dari berbagai komponen, termasuk:

- Unit pemasangan (contohnya: lampu yang dipasang di dinding, digantung secara tidak langsung/langsung, dan diberdirikan di permukaan);
- Sumber cahaya (contohnya: lampu pijar, halogen, lampu neon linear, lampu neon kecil, lampu dengan pelepasan berintensitas tinggi, dan LED);
- Ballast; dan
- Pengaturan cahaya.

Saat mendesain sistem pencahayaan artifisial, ahli desain perlu mempertimbangkan banyak isu kritis, termasuk penerangan vertikal dan horizontal, pengendalian cahaya silau, penyeragaman cahaya, pemberian warna dan integrasi dengan cahaya alami.



Gambar 33. Strategi untuk Sistem Pencahayaan dengan Efisiensi Energi

Menyediakan jarak penglihatan yang cukup adalah salah satu tujuan utama dari pencahayaan yang berkualitas. Kualitas pencahayaan juga memiliki dampak signifikan terhadap banyak kebutuhan manusia lainnya, seperti kenyamanan visual, keamanan dan kesehatan, komunikasi sosial, suasana hati, dan kemampuan untuk melaksanakan tugas. Contohnya, buku pegangan Pencahayaan IESNA (*the Engineering Society of North America*) membahas masalah-masalah desain seperti penampilan warna, integrasi dan pengendalian atas cahaya alami, penerangan permukaan ruangan, cahaya silau yang direfleksikan, dan berbagai masalah lain secara lebih terinci. Buku pegangan ini juga menyediakan Panduan Desain Pencahayaan yang mengilustrasikan pentingnya masalah kualitas pencahayaan ini untuk jenis ruang tertentu.

	Kantor Pribadi	Ruang Rapat	Ruang Kelas (Umum)	Hotel Guest Room (General)	Kantin/ Food Court	Rak Super-market	Ruang Penyusunan dasar - Industri
Penampilan ruang dan unit pencahayaan	⊙	●	○	●	●	⊙	○
Tampilan warna	⊙	⊙	○	⊙	●	●	○
Pengaturan dan integrasi cahaya alami	●	○	⊙		●		⊙
Pengaturan cahaya silau langsung	●	●	⊙		⊙	●	○
Distribusi cahaya di tempat kerja (keseragaman)	⊙	⊙	⊙		○	●	○
Penerangan permukaan ruangan	●	⊙	⊙	●	○	○	●
Pengaturan bayangan	⊙	○	○		⊙	●	●

● Sangat Penting ⊙ Penting ○ Sedikit Penting Kosong tidak Penting
 Sumber: IESNA Lighting Handbook, 9th edition, chapter 10.

Tabel5. Panduan Desain IESNA Design Guide untuk isu Kualitas Pencahayaan

Kategori	Deskripsi	Tingkat Penerangan yang direkomendasikan (fc)
Penglihatan dasar dan orientasi	Ruang publik	3
	Orientasi umum untuk kunjungan dengan waktu singkat	5
	Ruang kerja dimana dibutuhkan kemampuan penglihatan secara umum	10
Penglihatan secara umum	Penglihatan terhadap ukuran besar dan tingkat kontras tinggi	30
	Penglihatan terhadap ukuran kecil dan tingkat kontras tinggi, atau ukuran besar dan tingkat kontras rendah	50
	Penglihatan terhadap ukuran kecil dan tingkat kontras rendah	100
Penglihatan spesial	Penglihatan terhadap hal yang memiliki elemen sangat kecil atau dengan kontras sangat rendah	300 - 1000

Sumber: IESNA Lighting Handbook, 9th edition, chapter 10, p.13

Tabel 6. Prosedur desain pencahayaan IESNA juga memberikan rekomendasi tingkat penerangan untuk 7 kategori, yang terbagi ke dalam tiga kelompok tingkat penglihatan.

KEBUTUHAN UNTUK PENCAHAYAAN DALAM RUANGAN (UMUM)

- Kantor, ruang kerja 350 lux
- Hotel, kamar tidur 150 lux
- Fasilitas pendidikan, ruang menggambar 750 lux
- Industri, pabrik 100 lux
- Pusat perbelanjaan, toko baju 500 lux

Tabel 7. Kebutuhan untuk Pencahayaan dalam Ruangan

8.1.1 Integrasi dengan Cahaya Alami

Untuk mencapai penghematan energi dalam pencahayaan, pencahayaan artifisial harus diintegrasikan dengan cahaya alami. Ada beberapa tahap yang dapat dipertimbangkan untuk mengintegrasikan kebutuhan pencahayaan dalam ruang dengan cahaya matahari yang tersedia dan pencahayaan artifisial yang dibutuhkan. Sebagai batas minimum, perlu mengadaptasikan unit lampu dengan penyebaran matahari dalam ruang tersebut. Disarankan untuk memisahkan pengaturan lampu yang dekat dengan jendela atau kaca atap dari pengaturan pencahayaan artifisial yang lain dalam ruang. Hal ini menghemat energi karena memungkinkan dimatikannya lampu-lampu yang berada dalam zona cahaya matahari saat cahaya alami memberi kontribusi besar. Untuk sistem pencahayaan yang memaksimalkan fleksibilitas dan penghematan energi, dapat mempertimbangkan penggunaan ballast yang dapat meredupkan cahaya, dengan sistem peredupan yang manual atau otomatis guna mencapai fleksibilitas lebih tinggi. Integrasi pencahayaan artifisial dan pencahayaan alami dapat berjalan lebih mudah dengan menggunakan sensor cahaya matahari untuk menyesuaikan lampu elektrikal dengan cahaya matahari yang tersedia.

8.1.2 Sumber-sumber Cahaya

Sejumlah program analisis berkualitas tinggi tersedia untuk membantu para ahli dalam mendesain sistem pencahayaan. Program yang paling dasar menyediakan perhitungan *rudimentary zonal cavity* untuk memprediksi penerangan horizontal rata-rata, sementara program yang paling kompleks dapat melakukan perhitungan yang lebih sulit dan memberikan hasil yang realistis. Banyak dari produsen lampu menawarkan program perhitungan matematika standar yang dapat memprediksikan performa dari unit lampu mereka (atau unit lampu produsen lain) dalam desain pencahayaan umum. Sebagian

Jenis	Efisiensi	Umur lampu	Luminansi Pemeliharaan	CRI
	(lm/Watt)	(jam)	Umur lampu setengah (umur lampu habis)	
Lampu pijar	8 - 18	750 - 2,000	90% (85%)	80 - 95
Neon Linear	55 - 79	10,000 - 20,000	85% (80%)	30 - 90
Neon kecil (compact)	75 - 81	10,000		30 - 90
LED	40 - 60	35,000 - 50,000		40 - 90
Merkuri	30 - 55	18,000 - 24,000	85% (80%)	30 - 80
Metal Halide	60 - 95	10,000 - 20,000	75% (65%)	80 - 90
Sodium Tekanan Tinggi	60 - 125	18,000 - 24,000	90% (70%)	20 - 39
Sodium Tekanan Rendah	80 - 130	16,000	100% (100%)	<20

Tabel 8. Sumber-sumber Cahaya (Diambil dari Presentasi GBI Malaysia).

besar program ini bisa menghitung penerangan horizontal dan vertikal untuk berbagai titik dalam ruang. Sebagian besar juga bisa mengekspor output perhitungan ke AutoCAD.

8.1.3 Pemeliharaan

Pemeliharaan yang baik adalah faktor kunci terhadap performa, kualitas pencahayaan, dan efisiensi energi dari sistem pencahayaan. Membangun prosedur pemeliharaan yang tepat adalah tanggung jawab bersama dari sejumlah pihak, termasuk ahli desain pencahayaan hingga

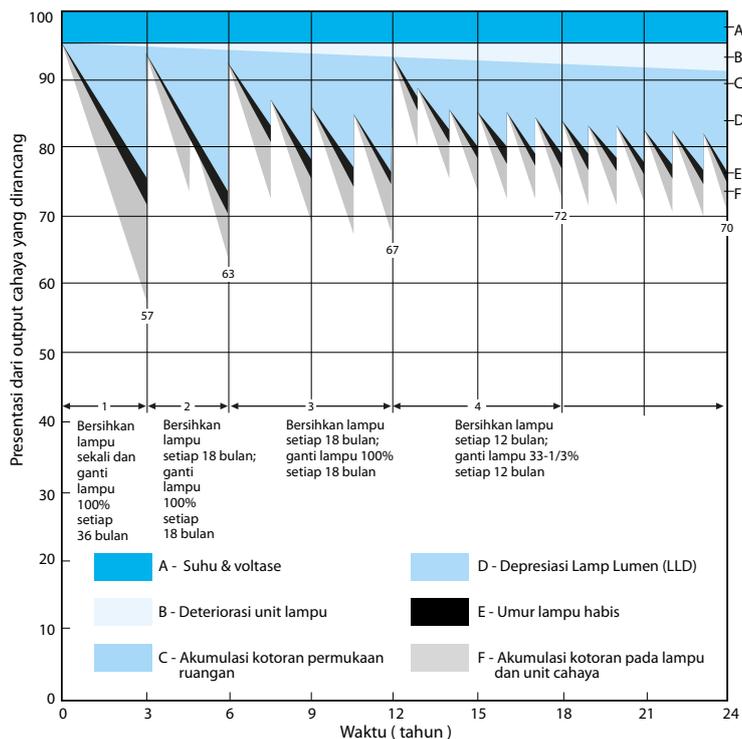


Table 9. Dampak Pemeliharaan Terhadap Output Pencahayaan (Pic xyz: Diambil dari IESNA Lighting Handbook)

orang yang bertugas mengganti lampu. Rencana pemeliharaan pencahayaan yang baik seharusnya terdapat bersamaan dengan spesifikasi bangunan gedung.

Tanpa pemeliharaan yang baik, output cahaya yang dihasilkan dapat berjumlah serendah 57% dari yang awalnya dirancang. Pembersihan unit cahaya secara teratur dapat mengurangi kehilangan cahaya hingga 30%. Dengan memelihara faktor refleksi dinding, kehilangan cahaya dapat dikurangi lagi, hingga 10%.

8.1.4 Pembersihan Unit Cahaya (*luminaire*)

Bersihkan unit cahaya secara menyeluruh dalam jarak waktu yang teratur. Pemeliharaan teratur akan menjamin kelanjutan performa sistem pencahayaan sebagaimana dirancang, sehingga memaksimalkan kualitas pencahayaan dan penampilan ruang. Saat membersihkan unit cahaya, personil pemeliharaan sebaiknya memeriksa dan mengganti peralatan yang bermasalah atau rusak, seperti lensa, *louver*, dan *ballasts*.

8.1.5 Penggantian Lampu Secara Berkelompok

Sistem pencahayaan akan memiliki performa terbaik saat dipelihara dalam jarak waktu yang teratur. Penggantian lampu secara berkelompok adalah strategi pemeliharaan yang ditujukan

untuk memaksimalkan keekonomian lampu dan performa sistem pencahayaan dengan cara mengganti seluruh lampu dalam jarak waktu yang teratur, yaitu sesaat sebelum mulainya periode kerusakan mayoritas lampu terjadi. Meskipun penggantian lampu secara individu juga sesekali dibutuhkan untuk menjaga penampilan dan penerangan setelah terjadi kerusakan dini, penggantian lampu satu per satu akan menghabiskan banyak tenaga kerja dan biaya. Dalam jangka panjang, penggantian lampu secara berkelompok akan mengurangi biaya dari komponen sistem pencahayaan melalui prinsip sederhana skala ekonomi besar. Selain itu, penggantian unit cahaya dalam jangka waktu teratur akan memelihara tingkat cahaya dan kualitas pencahayaan sesuai dengan yang dirancang dalam desain. Untuk lebih hemat lagi, penggantian lampu secara berkelompok sebaiknya dikombinasikan dengan pembersihan dan perbaikan unit cahaya lampu.

8.1.6 Alat Kontrol Cahaya

Gunakan alat kontrol cahaya untuk mengurangi pemakaian energi dari pencahayaan, menjamin kualitas pencahayaan yang baik, dan memberikan penghuni kendali atas lingkungan penerangan mereka. Alat kontrol cahaya sangat penting untuk meminimalisasi pemakaian energi pencahayaan dan memaksimalkan fungsi ruang dan kepuasan pengguna. Teknik pengontrolan dapat berkisar dari yang paling sederhana hingga yang sangat kompleks. Strategi pengontrolan cahaya utamanya berhasil saat orang yang menggunakan alat kontrol dapat memahami cara penggunaannya. Faktor penting lain adalah pengawasan sistem kontrol pencahayaan yang tepat agar dapat beroperasi sesuai dengan rancangan. Terakhir, pemeliharaan peralatan kontrol yang terjadwal dan teratur akan meningkatkan keberhasilan jangka panjang dari sistem. Alat kontrol pencahayaan otomatis yang didesain, diawasi, dan dipelihara secara buruk dapat meningkatkan penggunaan energi pencahayaan, dan dapat menyebabkan ketidakpuasan pengguna. Peralatan kontrol yang berbeda mungkin akan lebih sesuai untuk aplikasi spesifik.

8.1.7 Saklar

Saklar manual sebaiknya juga diinstalasi dalam ruang yang memiliki sensor okupansi. Ini akan lebih menghemat energi dari alat kontrol sensor okupansi, karena memungkinkan dimatikannya lampu saat tidak dibutuhkan.

8.1.8 Peredup Manual

Peredupan lampu mengurangi tuntutan pencahayaan dan penggunaan energi. Untuk sumber lampu pijar dan halogen, terdapat keuntungan tambahan dalam bentuk umur lampu yang lebih panjang (meskipun peredupan lampu halogen yang terlalu rendah dapat mengakibatkan penghitaman lampu). Kedua, dan yang lebih penting, peredup dapat memberikan keleluasaan untuk menyesuaikan cahaya ke tingkat optimum untuk performa visual dan kenyamanan visual.

8.1.9 Sensor Okupansi

Sensor okupansi utamanya efektif dalam ruang yang tidak dihuni secara teratur, atau dimana lampu kemungkinan besar tetap nyala saat tidak dihuni. Tempat aplikasi sensor yang baik meliputi kantor pribadi, ruang rapat/konferensi, kamar mandi, dan tempat penyimpanan. Spesifikasi kontrol yang akurat dapat mencegah gangguan yang dapat ditimbulkan oleh sensor okupansi, seperti matinya lampu lebih awal dalam kamar mandi. Sensor juga dapat digunakan untuk menempatkan FCU atau AHU dalam 'mode hemat energi'.

8.1.10 Alat Pengatur Waktu

Alat pengatur waktu dapat menghemat energi melalui penjadwalan pencahayaan untuk mengurangi jumlah waktu penyalaan lampu. Alat pengatur waktu berkisar dari alat-alat sederhana yang dirancang untuk mengontrol beban elektrik tunggal, hingga sistem kompleks yang dapat mengontrol sejumlah zona pencahayaan. Alat pengatur waktu cocok untuk digunakan di tempat dimana waktu hunian bisa diprediksi, dan dimana alat kontrol sensor okupansi yang otomatis akan bersifat tidak praktis atau tidak diinginkan. Ruang potensial untuk penggunaannya meliputi ruang kelas, kantor, auditorium, dan wilayah eksterior.

8.1.11 Alat Kontrol Foto-Elektrik dan Sensor Lux

Alat kontrol foto-elektrik menggunakan sensor foto dan pengontrol logika untuk mengontrol cahaya dalam ruang cahaya alami. Pengontrol logika memproses sinyal dari sensor foto dan mengirimkan sinyal peredupan atau penggantian ke sirkuit pencahayaan, berdasarkan tingkat cahaya yang dimonitor. Sistem putaran terbuka hanya memonitor cahaya alami, sementara sistem putaran tertutup memonitor baik cahaya alami maupun cahaya yang dipancarkan oleh

unit lampu di bawah kendalinya. Keberhasilan penggunaan sistem pencahayaan yang dikontrol secara foto-elektrik bergantung pada desain, instalasi, dan pengawasan secara akurat, serta komitmen terhadap pemeliharaan sistem jangka panjang. Tanpa adanya elemen-elemen tersebut, penghematan energi jarang dapat dilanjutkan.

8.1.12 Sistem Manajemen Energi (SME).

Umumnya saat pencahayaan dikontrol oleh SME, pengontrolannya menggunakan jam waktu. Namun demikian, banyak pengelola bangunan gedung mengambil keuntungan dari fungsi SME, yang terintegrasi, untuk memonitor penggunaan pencahayaan berdasarkan ruang. Kendali SME atas sistem pencahayaan juga dapat memungkinkan pengelola bangunan gedung untuk menghilangkan beban pencahayaan yang tidak esensial di saat periode tuntutan paling tinggi, atau bahkan meredupkan beberapa unit lampu untuk mengurangi beban listrik.

8.1.13 Standar Nasional

Mengacu pada Standar Indonesia untuk Konservasi Energi pada Sistem Tata Cahaya Bangunan Gedung (SNI 6197:2011), desain sistem pencahayaan harus memenuhi tingkat maksimum efisiensi yang dihitung dalam W/m^2 .

8.1.14 Perilaku Manusia

Kontrol Nyala Manual, Otomatis Mati, sangat cocok untuk tempat dengan cahaya alami, karena orang-orang hanya akan menggunakan pencahayaan saat mereka membutuhkan cahaya tambahan untuk melakukan suatu tugas, atau saat cahaya matahari tidak cukup. Mematikan lampu secara otomatis dapat dikendalikan oleh

Keberhasilan penggunaan sistem pencahayaan yang dikontrol secara foto-elektrik bergantung pada desain, instalasi, dan pengawasan yang akurat, serta komitmen terhadap pemeliharaan sistem jangka panjang.

Standar Nasional Penggunaan Energi Maksimum untuk Pencahayaan	
	(W/m^2)
Rumah Tinggal	3 – 7
Kantor	12 - 20
Pendidikan	11 - 20
Hotel & restoran	7 -12
Rumah sakit	8 -15
Pertokoan/pusat perbelanjaan	9 – 15
Industri	7 – 50
Keagamaan	10 – 13

Table 10. Standar Penggunaan Energi Maksimum untuk Pencahayaan

alat pengatur waktu atau sensor okupansi. Letakkan saklar manual di tempat keluar. Orang-orang akan lebih mungkin mematikan lampu saat saklar mudah diakses. Lakukan ini terutama untuk ruang rapat.

8.1.15 Langkah-langkah Efisiensi Energi Tanpa Biaya, Biaya Rendah dan Biaya Tinggi

Langkah-langkah Tanpa Biaya

- Matikan lampu yang tidak dibutuhkan
- Pastikan lampu yang digunakan menerangi subjek yang tepat dan cahaya tidak diteruskan ke tempat yang tidak dibutuhkan
- Pastikan peralatan lampu yang dipilih memiliki rasio-output-cahaya (LOR) yang tinggi
- Batasi penggunaan pencahayaan untuk fitur dan penampilan
- Meminimalisasi penggunaan pencahayaan dekorasi
- Hindari menerangi area secara berlebihan
- Jaga kebersihan unit lampu

Langkah-langkah dengan Biaya Rendah

- Ganti lampu bohlam (filamen tungsten) dengan alternatif yang memiliki efisiensi energi lebih tinggi
- Pilih lampu dengan umur yang lebih panjang untuk mengurangi biaya pemeliharaan (penggantian)
- Gunakan jenis lampu TL T5 yang lebih ramping di tempat yang memungkinkan, namun hindari cahaya silau di tempat dengan langit-langit rendah
- Pasang alat pengatur waktu dan alat kontrol okupansi
- Gunakan sensor foto untuk mengatur pencahayaan eksternal
- Bersihkan pencahayaan neon untuk menjaga output cahaya
- Gunakan simulasi komputer untuk tingkat luminasi yang tepat
- Gunakan lampu meja/lampu duduk untuk mengurangi lampu ambien
- Gunakan lampu induksi untuk tempat yang sulit diakses
- Sinari permukaan vertikal untuk membuat ruang terlihat lebih terang

Langkah-langkah dengan Biaya Tinggi

- Pasang alat kontrol berfrekuensi tinggi untuk pencahayaan neon
- Pasang pencahayaan induksi untuk

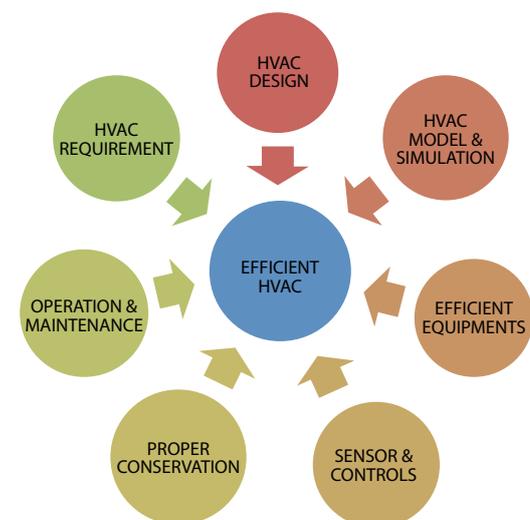
tempat yang tidak bisa diakses

- Gunakan pengaturan cahaya yang terhubung dengan cahaya alami dimana terdapat cahaya alami yang memadai
- Gunakan 'soft start' pada alat pengaturan yang sudah ada tidak berfrekuensi tinggi
- Spesifikasikan unit lampu dengan Rasio Output Cahaya (LOR)
- Pelihara pengaturan cahaya yang sudah ada

8.2 HVAC

Pendingin ruangan dan sistem ventilasi ditujukan untuk menyediakan kenyamanan pendinginan yang cukup, pengurangan kelembaban, sebagai ventilasi hunian dengan biaya yang wajar. Ukuran AC, serta tata ruang sistem dan zona, adalah aspek penting dari desain AC. Menentukan ukuran AC adalah isu yang kompleks yang perlu dihadapi dengan sistematis. Ukuran yang pas bergantung pada banyak faktor, termasuk iklim, konfigurasi bangunan gedung, penggunaan ruang, tata ruang, dan zona sistem.

Bangunan gedung menggunakan sistem pendingin ruangan yang berbeda, seperti sistem AC sentral, unit AC paket yang berdiri sendiri, sistem aliran VRF (Variable Refrigerant Flow) refrigeran yang bervariasi, dan sistem paket berpendinginan air. Dalam sistem-sistem selain sistem AC sentral, strategi manajemen energi yang dapat digunakan biasanya bersifat spesifik terhadap setiap instalasi dan tidak bisa didiskusikan secara umum. Meskipun demikian, satu saran umum adalah untuk memilih sistem dengan faktor COP tinggi apabila menginginkan



Gambar34. Strategi untuk Sistem HVAC dengan Efisiensi Energi

efisiensi energi yang prima.

Subsistem dari sistem AC sentral yang berdampak terhadap efisiensi energi adalah:

- Unit *Chiller*
- Menara pendinginan
- AHU/FCU
- Pompa
- Pipa
- Saluran
- Kualitas Air

8.2.1 Isu Kebesaran Kapasitas/Ukuran

Kapasitas AC yang cocok bergantung pada banyak faktor, termasuk iklim, konfigurasi bangunan gedung, penggunaan ruang, spesifikasi lingkungan dalam ruangan, tata ruang dan zona sistem. Seluruh faktor ini seharusnya dispesifikasi dalam *owner project requirements* (OPR).

Ukuran komponen AC yang tepat adalah faktor penting untuk mendesain sistem AC yang memiliki efisiensi energi. Sistem yang berukuran tepat akan lebih murah untuk dipasang, dioperasikan, dan dipelihara. Ukuran yang terlalu kecil tidak akan memenuhi kebutuhan suhu, kelembaban atau kualitas udara dalam ruangan. Ukuran yang terlalu besar akan menghabiskan biaya lebih tinggi, menghabiskan ruang lebih banyak, beroperasi kurang efisien dalam kondisi beban parsial, seringkali memiliki performansi pengurangan kelembaban yang buruk, dan memperpendek umur peralatan karena siklus nyala/mati yang terlalu sering.

Dalam fase desain awal, saat tataruang zona belum diketahui, ukuran kasar AC dapat didasarkan pada prinsip-prinsip umum. Dalam fase desain yang sudah terinci, perhitungan beban pendinginan yang tepat di tingkat zona, sistem, dan gedung sebaiknya dilakukan setelah tata ruang sistem dan zona telah ditentukan. Pengukuran yang cocok didasarkan pada perhitungan beban yang tepat dengan pertimbangan margin desain yang cukup wajar. Ini akan membutuhkan pengetahuan dan pengalaman profesional dalam bidang pendingin ruangan.

Standar ASHRAE 90.1 meliputi perhitungan beban dan panduan ukuran. Namun demikian, survei dan pengalaman menunjukkan bahwa sebagian besar sistem pendingin ruangan memiliki karakter kebesaran kapasitas. Dalam kasus apapun, kebesaran kapasitas bukan merupakan praktek desain yang baik. Jauh lebih efektif untuk membuat desain yang lebih ramping yang juga

telah mengukur setiap komponen secara tepat dan memungkinkan kerjasama antara setiap komponen tersebut untuk performansi energi maksimum – tidak hanya untuk kondisi yang bisa terduga namun juga untuk kondisi yang tidak bisa terduga.

Terdapat beberapa faktor yang umumnya mengakibatkan pemilihan sistem yang kebesaran dari ukuran yang dibutuhkan:

- Asumsi perolehan panas internal yang terlalu tinggi dan tidak realistis. Daya pencahayaan dan beban kotak kontak yang nyata seringkali lebih rendah dari yang awalnya diasumsikan dalam perhitungan beban.
- Parameter desain yang secara tidak wajar terlalu membatasi seperti kepadatan penghuni tinggi, udara luar ruangan sebesar 20 cfm/orang, atau suhu thermostat dalam ruangan 22°C untuk pendinginan.
- Opsi terbatas untuk rentang kapasitas ukuran komponen (memilih “kapasitas lebih besar pada rentang ukuran di atas angka desain”).
- Penggunaan faktor keamanan yang berlebihan dalam perhitungan beban.
- Peningkatan penggunaan paket desain dari program tanpa pengetahuan cukup terhadap cara perhitungan dan margin yang digunakan oleh program.
- Pemeliharaan dan pengamanan dari kegagalan total sistem.
- Kapasitas nyata dihitung lebih rendah dari kapasitas nominal, disebabkan antisipasi terhadap pengawasan yang kurang atau penggunaan yang tidak tepat.
- Kekhawatiran tanggung jawab hukum yang dimiliki ahli desain.
- Memberikan ruang untuk perubahan penggunaan gedung di masa depan yang mungkin meningkatkan beban pendinginan.

Contoh ukuran AC yang sesuai

Salah satu faktor paling penting dalam menghindari ukuran yang kebesaran adalah asumsi beban pendinginan yang digunakan pada tahap desain. Angka umum yang digunakan untuk bangunan gedung kantor di Indonesia adalah 146.53 W/m² (500 BTU/m² per jam) atau 205.15 W/m² (700 BTU/m² per jam). Namun dengan desain, *modeling*, dan simulasi terinci, angka beban pendinginan ini dapat dikurangi hingga mendekati angka nyatanya. Contohnya,

Salah satu faktor paling penting dalam menghindari kebesaran kapasitas adalah asumsi beban pendinginan yang digunakan pada tahap desain.

Efisiensi *chiller* dapat ditingkatkan melalui pemberian ukuran yang lebih besar untuk menara pendingin, karena menara pendingin yang berukuran berlebih umumnya menyediakan air kondensor yang lebih rendah ke *chiller*.

sebuah bangunan gedung kerja publik yang didesain untuk menggunakan 99.64 W/m² (340 BTU/m² per jam), yang hemat 30% dari praktek umum sekarang.

Ini mengakibatkan investasi pendingin ruangan yang lebih rendah, karena sistemnya kini hanya melayani 70% dari desain umum, yang berarti area yang dibutuhkan untuk *chiller* lebih kecil, energi yang dibutuhkan dari PLN lebih sedikit, dan biaya operasi juga lebih rendah.

Meskipun demikian, harus dicatat bahwa bangunan gedung berefisiensi tinggi membutuhkan lebih banyak waktu untuk menstabilisasi suhu dalam ruangan, sehingga pengawasan dan setelan yang tepat selalu dibutuhkan.

8.2.2 Subsystem

Chiller

Chiller mengonsumsi paling banyak energi dalam sistem HVAC. Terdapat dua jenis *chiller*, *chiller* siklus tekanan-uap dan *chiller* siklus pendinginan absorpsi. *Chiller* siklus tekanan-uap (*vapor compression cycle chiller*) adalah *chiller* yang paling umum digunakan, sementara *chiller* siklus pendinginan absorpsi (*absorption refrigeration cycle chiller*) hanya cocok untuk digunakan saat terdapat sumber panas yang mudah tersedia, seperti dalam pembangkit listrik atau pembangkit kogenerasi. Meskipun demikian, terdapat beberapa terobosan teknologi yaitu sistem pendingin surya, dimana teknologi pendingin absorpsi menggunakan energi termal matahari sebagai sumber panasnya. (Setiap *chiller* memiliki kurva efisiensi sebagian beban sendiri yang dapat ditemukan dalam buku panduannya).

Efisiensi dari *chiller* bergantung pada beban kapasitasnya. Efisiensi *chiller* yang terbaik berada dalam kisaran operasi 60-100% dari kapasitas totalnya; sementara efisiensi optimum didapatkan pada 80% beban pendinginannya (beberapa *chiller* beroperasi terbaik pada tingkat 100%). *Chiller* secara umum memiliki ukuran yang berlebihan karena alat estimasi beban yang tepat seringkali tidak tersedia, sehingga penggunaan faktor keamanan yang tinggi dalam desain diterapkan. Selain itu, *chiller* umumnya diberikan ukuran yang dapat mencapai kondisi beban tertinggi tanpa banyak pertimbangan terhadap profil bebannya. Sebagaimana beban pendinginan dalam gedung dapat bervariasi dengan waktu, ini dapat mengakibatkan operasi *chiller* pada tingkat beban parsial untuk periode yang lama pada siang hari, dengan demikian

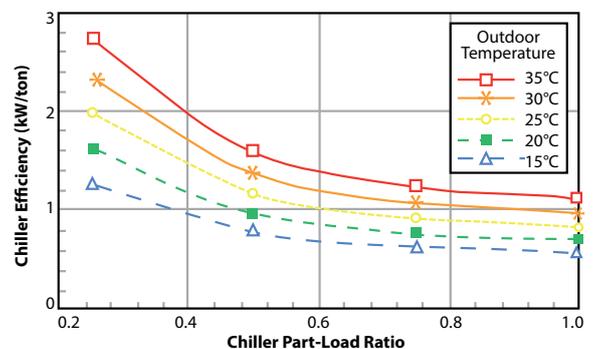
membuang banyak energi.

Pemilihan ukuran dan konfigurasi *chiller* untuk gedung baru sebaiknya diperkirakan secara tepat, dan apabila memungkinkan, modeling dan simulasi profil rendah sepanjang tahun juga dilakukan. Sama halnya, *retrofitting* untuk bangunan gedung yang sudah ada sebaiknya dilakukan dengan pertimbangan profil beban pendinginan gedung yang nyata dan terukur. Direkomendasikan untuk memasang *chiller* dengan kapasitas berbeda untuk memenuhi profil beban, guna mencegah pemakaian beban parsial dalam periode yang lama.

Penetapan ulang suhu air dingin, melalui peningkatan suhu air dingin sebesar 0,6°C, diperkirakan akan meningkatkan efisiensi *chiller* secara umum sebesar 1-2%. *Chiller* secara umum didesain untuk persediaan air dingin dalam suhu 6,7°C untuk memenuhi beban pendinginan tertinggi yang didesain. Namun, *chiller* jarang beroperasi dalam kondisi beban tertinggi, sehingga pada sebagian besar waktu, persediaan air dingin pada nilai yang didesain tidak dibutuhkan. Dengan demikian, suhu air dingin dapat diset ulang pada suhu yang lebih tinggi. Sementara itu, penetapan ulang suhu air kondensor melalui penurunan suhu sebesar 0.6°C akan menghasilkan peningkatan efisiensi sebesar 1-2%. (*Energy-Efficient Building Systems* - Dr. Lal Jayamaha)

Menara Pendingin

Menara pendingin berfungsi membuang kalor ke udara untuk sistem AC. Pertimbangan tidak menggunakan menara pendingin di gedung biasanya atas dasar kesulitan mendapatkan air bersih untuk membuang panas. Bila hal ini terjadi pilihannya adalah membuang panas melalui media udara. Namun sistem pendinginan melalui udara cenderung memiliki efisiensi energi lebih rendah dibandingkan sistem pendinginan



Gambar 35. Contoh Efisiensi Chiller dalam Kondisi Beban Parsial (ASHRAE Journal – Agustus 2004)

melalui air. Walaupun menara pendingin tidak mengonsumsi energi yang banyak dalam sistem HVAC, performansinya sangat penting karena dapat berdampak signifikan terhadap efisiensi operasi dari *chiller*.

Menara pendingin umumnya memiliki ukuran yang dapat menerima air pada suhu 35°C dan mengembalikan air ke *chiller* pada suhu 29,4°C. Secara teoritis, menara pendingin dapat mendinginkan air hingga suhu bola-basah dari udara di sekitarnya. Namun, ini akan membutuhkan luas permukaan menara pendingin yang sangat besar. Oleh karena itu, menara pendingin secara normal didesain untuk dapat secara hemat mendinginkan air pada suhu pendekatan 2,8°C. Menara pendingin umumnya diberikan ukuran yang dapat mengeluarkan panas sebesar 125% dari dari kapasitas pendinginan *chiller*. Hal ini disebabkan menara pendingin harus menahan panas yang dipindahkan dari ruang yang telah didinginkan, serta panas yang ditambah oleh kompresor dari *chiller*. Efisiensi *chiller* dapat ditingkatkan dengan memperbesar kapasitas menara pendingin, karena menara pendingin yang berukuran berlebih umumnya menyediakan air kondensor yang lebih rendah ke *chiller*.

Kapasitas menara pendingin bergantung pada aliran udara. Saat *chiller* beroperasi pada beban parsial, jumlah panas yang dilawan oleh menara pendingin juga semakin rendah. Cara untuk mengendalikan jumlah aliran udara dalam *chiller* dengan cara memasang VSD atau melalui *fan cycling*.

Tingkat aliran air juga menentukan jumlah panas yang harus ditahan. Desain yang paling umum memiliki perbedaan 5,6°C antara suhu air kondensor yang kembali dan suhu persediaan air. Ini dapat dicapai dengan menyediakan 0,19L/s per RT (3USGPM per RT) dari kapasitas pendinginan, yaitu 1,25 kali aliran yang dibutuhkan untuk air yang telah didinginkan (*chilled water*) yaitu 0,15 L/s. Aliran yang tidak cukup akan mengakibatkan efisiensi *chiller* yang lebih rendah.

Area fokus lain yang harus diperhatikan adalah pemasangan menara pendingin. Terdapat jarak minimum yang harus dijaga antara menara pendingin dan penghalang-penghalang; umumnya jarak minimum ini dispesifikasi oleh pemasok menara pendinginan. Fungsi jarak minimum adalah untuk mencegah kembalinya udara lembab dan panas yang dikeluarkan oleh menara pendingin kembali ke dalam menara pendingin.

Kondisi menara pendingin harus sering dimonitor, karena sistem semprotan yang terblokir, tumbuhnya jamur, atau kerusakan-kerusakan lain yang mungkin timbul dapat mengurangi efisiensi sistem HVAC secara keseluruhan.

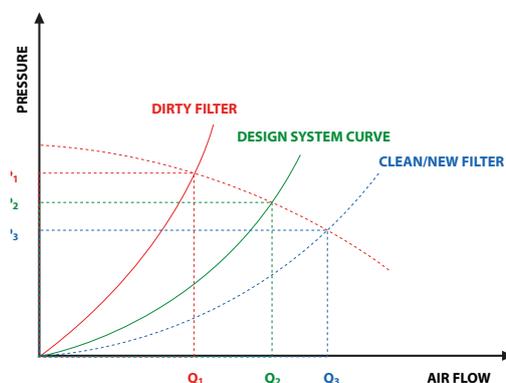
Selain itu, sangat direkomendasikan untuk meletakkan menara-menara pendingin jauh dari tempat pembuangan udara panas, seperti yang berasal dari dapur atau ruang pembangkit diesel. Untuk meningkatkan efisiensi HVAC, bisa dipilih lokasi penempatan menara pendingin di luar gedung yang banyak mengeluarkan udara panas, atau bahkan beberapa gedung hemat energi menggunakan kolam sebagai fungsi menggantikan peran menara pendingin.

AHU/FCU

AHU berfungsi mendistribusikan udara untuk sistem HVAC. Sumber udara umumnya merupakan kombinasi dari udara luar dan udara yang kembali dari ruang yang telah didinginkan.

Filter udara digunakan dalam AHU dan FCU untuk menghilangkan partikel-partikel padat dan cair dari udara segar. Jenis filter yang paling umum adalah filter media. Filter jenis ini memberikan hambatan terhadap aliran udara. Saat filter mengakumulasi debu dan partikel, hambatan terhadap aliran udara meningkat, sehingga mengakibatkan penurunan tekanan sepanjang filter. Umumnya, filter-filter dipilih untuk mendapatkan target penurunan tekanan yang sudah dirancang. Setelah mencapai titik penurunan tekanan tersebut, filter perlu dibersihkan atau diganti.

Saat filter-filter tersebut tidak dibersihkan atau diganti secara teratur, partikel debu sesekali melewati filter tersebut dan menyangkut di coil



Gambar33. Dampak Filter Terhadap Performa Sistem

pendinginan. Ini mengakibatkan penurunan tekanan yang lebih tinggi sepanjang koil dan menurunkan efisiensi pendinginan dari koil. Hal ini mengakibatkan tambahan energi untuk fan dan dibutuhkan frekuensi pembersihan koil yang lebih tinggi pula. Tentunya ini memakan biaya yang lebih besar daripada membersihkan atau mengganti filter. Selain menjaga kebersihan koil pendinginan dan filter, konsumsi energi untuk fan juga dapat diminimalisasi melalui desain dan seleksi koil.

Dalam kondisi normal, fan sentrifugal yang digunakan dalam AHU berbentuk lengkung ke depan atau lengkung ke belakang. fan yang melengkung ke depan berputar pada kecepatan yang relatif pelan dan umumnya digunakan untuk menghasilkan volume besar pada tekanan statis rendah. Efisiensi statis maksimum dari fan yang melengkung ke depan terjadi kurang dari 50% dari aliran udara maksimum yang dapat dihasilkannya. Fan yang melengkung ke belakang beroperasi pada dua kali kecepatan dari fan yang melengkung ke depan. Efisiensi statis maksimum dari fan yang melengkung ke belakang terjadi pada sekitar 60% - 70% dari aliran udara maksimum yang dapat dihasilkannya. Akibat biaya modal yang lebih rendah, fan yang melengkung ke depan umumnya digunakan dalam AHU. Namun pada akhirnya, fan yang melengkung ke belakang lebih menguntungkan karena biaya ekstranya dapat terkompensasi oleh penggunaan energi fan yang lebih rendah saat beroperasi.

Fan untuk AHU umumnya memiliki ukuran yang dapat menangani aliran udara maksimum yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi beban tertinggi. Namun, kondisi beban tertinggi umumnya hanya terjadi untuk periode waktu yang pendek dan kapasitas AHU dikendalikan dengan memvariasikan suhu udara atau jumlah udara yang disediakan. Dalam sistem volume udara tetap (CAV – *Constant Air Volume*), kapasitas AHU juga dikendalikan melalui variasi suhu udara yang disediakan, namun fan AHU beroperasi pada kecepatan tetap untuk menghasilkan volume udara yang tetap pula. Ini tidak hanya menghabiskan energi karena menyediakan volume udara yang tetap tanpa melihat beban, tapi juga mengakibatkan kelembaban relatif ruangan menjadi tinggi pada beban rendah, karena suhu udara yang disediakan lebih tinggi.

Untuk menyelesaikan masalah ini, sistem-sistem variable volume udara (VAV – *variable air volume*) yang memiliki peralatan seperti

discharge dampers, inlet guide vanes atau *variable speed drives (VSD)* dapat digunakan untuk mengatur volume udara untuk memenuhi beban pendinginan yang dibutuhkan, sementara tetap memelihara suhu udara suplai yang tetap. Meskipun *discharge dampers* dan *inlet guide vanes* dapat mengatur volume udara, penghematan energi yang dicapai melalui metode-metode ini berkurang secara signifikan untuk VSD.

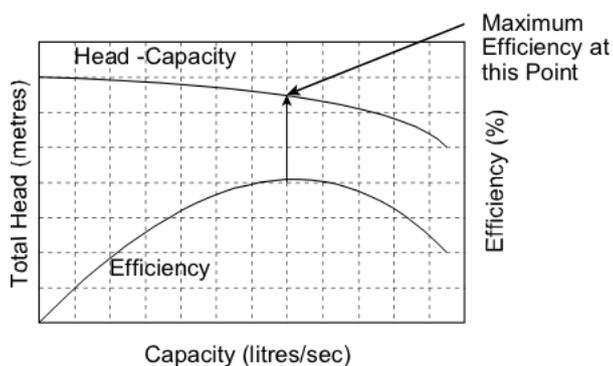
Dalam sistem VAV, penghematan energi lebih lanjut dapat dicapai melalui penataan ulang yang terus menerus terhadap titik penetapan tekanan statis dalam respon terhadap posisi *dampers* dalam kotak VAV. Namun, untuk membuat sistem tersebut berfungsi, posisi *dampers* kotak VAV perlu dihubungkan ke pengaturan fan AHU melalui SME pusat.

Pompa

Saat pompa beroperasi pada sisi apapun dari kondisi pengoperasian ideal (kelebihan/kekurangan aliran atau kelebihan/kekurangan tekanan), tingkat efisiensinya dapat bervariasi, usaha-usaha melakukan penghematan energi dapat dilakukan untuk mengoptimalkan kinerja pompa, apabila peluang ini dimanfaatkan maka konsumsi energi dari sisi pompa berkurang secara dramatis.

Oleh karena itu, disarankan pendekatan tiga langkah:

1. Tentukan aliran yang dibutuhkan dan cocokkan dengan spesifikasi pompa mengenai aliran yang disampaikan dalam waktu dan volume.
2. Lakukan analisis pada sistem distribusi—temukan cara untuk mengurangi hambatan terhadap aliran.
3. Pastikan bahwa pompa atau fan yang



Gambar 37. Operasi Pompa Optimum (ENERGY MANAGEMENT HANDBOOK FOR KEY ENERGY USING BUILDINGS IN VIETNAM)

dipakai merupakan yang tepat untuk aplikasi tersebut, dan beroperasi pada kondisi yang mendekati optimal. Jika tidak, pertimbangkan ulang pilihan pompa atau fan.

Gambar 38 menunjukkan hubungan antara tekanan, aliran dan titik pengoperasian optimum untuk pompa sentrifugal. Pengoperasian yang paling efisien dari sistem pompa adalah titik optimum dengan hambatan aliran sesedikit mungkin. Hubungan-hubungan yang mirip juga terdapat pada fan dan *blower* sentrifugal.

Pipa

Pipa mempengaruhi efisiensi sistem HVAC akibat dari kehilangan tekanan dan kehilangan atau perolehan termal. Untuk mencegah timbulnya kehilangan atau perolehan termal, pipa perlu diisolasi. Keuntungan dari isolasi selain mengurangi biaya konsumsi energi mencakup:

- Mengurangi atau menghilangkan kondensasi pada pipa atau saluran dingin.
- Melindungi dari suhu pipa yang berbahaya.
- Mengurangi perolehan panas yang tidak diinginkan ke ruang-ruang ber-AC.

Pipa-pipa berikut sebaiknya diisolasi:

- Pipa yang mengalirkan air dingin.
- Pipa yang mengalirkan air kondensor di luar selubung bangunan gedung.
- Pipa air dingin di luar selubung bangunan gedung.
- Isolasi sebaiknya yang punya kemampuan mencegah munculnya kondensasi di permukaan isolasi.

Tidak ada aturan tertentu terkait ukuran pipa. Ukuran yang paling hemat biaya adalah desain yang didasarkan pada biaya siklus-hidup, yang juga mencakup biaya pemompaan. Semakin kecil pipa tersebut, semakin besar konsumsi energi dan daya yang digunakan untuk mengalirkan fluida di dalam pipa.

Meningkatkan diameter pipa ke satu ukuran lebih besar dapat berpengaruh besar terhadap penurunan daya pemompaan. Penurunan tekanan friksi yang lebih kecil dari *basic circuit* akan menyebabkan penurunan selisih tekanan pada katup kontrol, untuk nilai yang sama dari spesifikasi katup. Ukuran optimum dari sudut pandang biaya siklus-hidup harus mempertimbangkan hal-hal berikut:

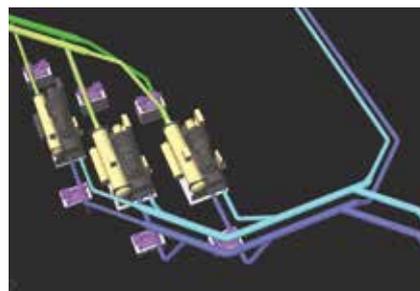
- Panjang sistem;
- Biaya modal;
- Penurunan tekanan rata-rata;
- Waktu operasi aktif untuk aliran penuh dan aliran parsial; dan
- Efisiensi kombinasi pompa-motor.

Saran umum untuk mengurangi penurunan tekanan sepanjang pipa adalah dengan mengurangi jumlah belokan 90°, terutama yang dekat dengan output pompa, dan apabila memungkinkan mengubah belokan 90° dengan belokan 120° atau lebih besar.

Disinilah arsitek dan konsultan ME dapat menciptakan perbedaan; dengan bekerja sama saat konsultan ME mungkin membutuhkan ruang untuk mengimplementasi sistem pipa dengan penurunan tekanan yang lebih rendah.



Gambar 38. Instalasi Pipa yang Buruk – Terlalu Banyak Belokan (Presentasi UCWSA)



Gambar 39. Arsitek Bekerjasama dengan Ahli Mekanikal pada Saat Melakukan Desain Ruang Chiller pada Desain Ruang Plant



Gambar 40. Sistem yang Sudah Diinstalasi

Ducting

Ducting (saluran udara) memengaruhi efisiensi sistem HVAC dalam hal kehilangan tekanan, infiltrasi udara dan perolehan atau kehilangan termal.

Ducting yang memerlukan isolasi adalah:

- Seluruh ducting yang mencatu udara dingin;
- Seluruh ducting untuk udara kembali yang terletak di atas langit-langit dan di bawah atap;
- Seluruh ducting untuk pelepasan dan pembuangan udara antara *dampers* yang dioperasikan dengan motor dan penetrasi eksterior bangunan gedung;

Isolasi sebaiknya yang mempunyai kemampuan mencegah timbulnya kondensasi di permukaan isolasi.

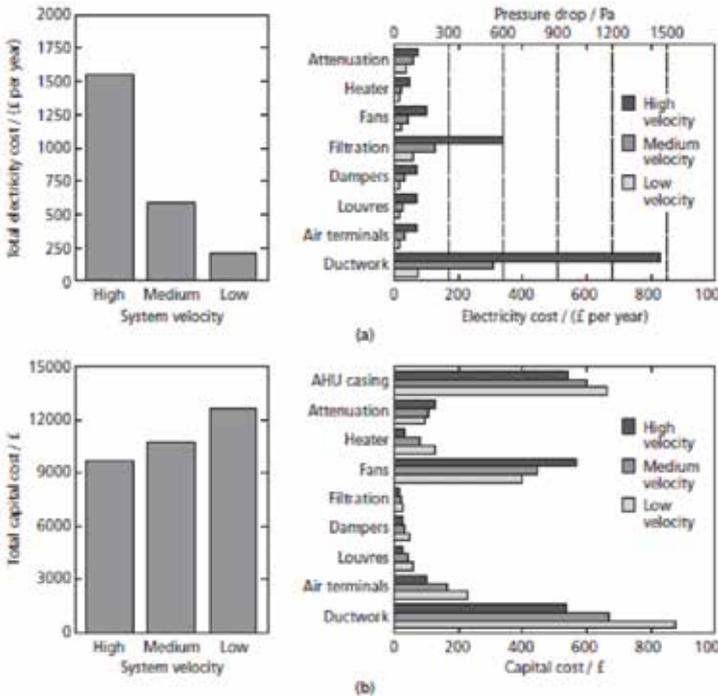
Sama halnya dengan pipa, tidak ada aturan terkait ukuran saluran. Namun, yang paling hemat biaya adalah desain yang didasarkan pada biaya siklus hidup termasuk biaya operasional fan. Semakin kecil saluran, semakin besar tekanan statis dan konsumsi energi. Energi dapat dikurangi dalam sistem ventilasi dengan cara:

- Menghindari belokan yang tidak diperlukan
- Menggunakan belokan dibandingkan siku-siku
- Memiliki 'sepatu' pada *fitting* cabang untuk percabangan T
- Menghindari pengecilan saluran (dengan kata lain, memelihara area bersekat-sekat silang)
- Meminimalisasi panjang saluran
- Meminimalisasi panjang saluran fleksibel
- Kondisi saluran masuk dan keluar yang baik pada kedua sisi fan
- Menggunakan peralatan dengan penurunan tekanan rendah (yaitu filter, attenuator, penukar panas)

Selebihnya, biaya operasional yang lebih rendah dapat dicapai dengan:

- Menggunakan *fitting* sesedikit mungkin.
- Memastikan ducting tertutup untuk meminimalisasi kebocoran udara.
- Menggunakan ducting bentuk silinder apabila ruang dan biaya awal memungkinkan, karena ducting silinder memberikan kehilangan friksi yang paling rendah untuk perimeter tertentu, atau kecepatan tertentu.
- Memelihara aspek rasio sebisa mungkin mendekati 1:1 saat menggunakan saluran persegi panjang, guna meminimalisasi kehilangan friksi saluran dan biaya awal.

Gambar 41 mengilustrasikan biaya operasional dan modal untuk sistem-sistem yang memiliki kecepatan udara desain yang berbeda. Gambar-gambar ini menunjukkan bagaimana biaya operasional dapat dikurangi untuk sistem dengan kecepatan rendah, dan bagaimana beberapa komponen menjadi lebih mahal sementara beberapa komponen lain menjadi lebih



Gambar 41. Perbandingan Sistem Kecepatan Tinggi, Sedang dan Rendah, Biaya Listrik (a) dan Biaya Modal (b) – (Duct and Piping Guideline – Mei 2011 - Kirsten Mariager)

Klasifikasi sistem	Tekanan statis desain (Pa)		Kecepatan udara maksimum [m/s]
	Maksimum Positif	Maksimum Negatif	
Tekanan rendah (Kelas A)	500	500	10
Tekanan sedang (Kelas B)	1000	750	20
Tekanan tinggi (Kelas C)	2000	750	40

*p adalah static gauge pressure dalam saluran (Pa)

Tabel 11. Tekanan dan Kecepatan Maksimum untuk Saluran Bertekanan Rendah, Medium, dan Tinggi. - (Duct and Piping Guideline – May 2011 - Kirsten Mariager)

murah. Keuntungan dari sistem yang memiliki efisiensi energi (kecepatan rendah) mencakup pengurangan biaya listrik hingga 70%, sementara biaya modal tambahan dapat didapatkan kembali dalam waktu kurang dari lima tahun.

Dasar dari perbandingan tersebut sebagai berikut:

- Seluruh sistem mencatu udara sebesar 2 m³/detik.
- Fan beroperasi pada efisiensi 70%.
- Efisiensi motor dan puli (*pulley*) sebesar 80% dan 90%.
- Biaya listrik: 5 sen (mata uang Inggris) per kWh.
- Waktu operasi per tahun: 3000 jam.
- Tingkat suara kurang dari 40 dBA.

Kualitas air

Setelah sistem HVAC didesain secara efisien, sistem berikutnya yang harus diperhatikan adalah kualitas dari air dingin dan air kondensornya sebagai kualitas air yang akan mempengaruhi efisiensi pertukaran panas di *chiller*, AHU, dan menara pendingin. Oleh karena itu, kualitas air yang buruk dapat memengaruhi penggunaan energi sehingga berakibat pada biaya operasional yang lebih tinggi, ketidaknyamanan dalam ruang yang dihuni, dan umur sistem HVAC yang lebih pendek.

Menurut Phillip Kotz dalam "*Clean System Approach to Air Conditioning Heating, Piping and Air Conditioning Journal*", kerak air sebesar 0,32 mm akan mengakibatkan penambahan 12% dalam konsumsi energi per ton untuk *chiller* yang menggunakan air. *Bio-fouling* 0,32 mm akan mengkonsumsi lebih banyak energi dibandingkan kerak karena bio-film yang menyebabkan hambatan pemindahan panas yang lebih baik. Tambahan energi 12% atau lebih banyak terjadi pada bangunan gedung dan kenyataan ini akan berpengaruh pada nilai profitabilitas gedung.

Informasi terinci dapat dilihat di Bab 8.8 – Air.

8.2.3 Standar Nasional

Mengacu pada Standar nasional Indonesia untuk Konservasi energi sistem tata udara bangunan gedung (SNI 6390:2011), desain dari sistem HVAC harus memenuhi tingkat efisiensi minimum yang terukur dalam COP (*coefficient of performance* – koefisiensi performansi) atau kW/TR (kilowatt per Ton Refrigerasi) sebagaimana tertera pada tabel berikut:

AC system	COP	kW/TR
Split System (<65.000 Btu/hr)	2.70	1.303
Variable Refrigerant Flow (VRF)	3.70	0.9051
Split Duct	2.60	1.353
Air Cooled Chiller (<159TR - >150TR)	2.80 - 3.00	1.353 - 1.172
Water Cooled Chiller (<159TR - >300TR)	4.00 - 6.05	0.879 - 0.581

Tabel 12. Efisiensi Energi Minimum per SNI 6390:2011

8.2.4 Langkah-langkah Tanpa Biaya, Biaya Rendah, dan Biaya Tinggi untuk Bangunan Gedung yang Telah Ada

Langkah-langkah Tanpa Biaya

- Maksimalkan ventilasi alami.
- Kurangi perolehan panas dari peralatan elektrik, dll.
- Pastikan bahwa pemanasan dan pendinginan tidak beroperasi bersamaan.
- Hilangkan hambatan internal untuk membebaskan gerakan udara.
- Apabila *damper* sirkulasi ulang dipasang, pastikan bahwa penggunaannya tepat.
- Bersihkan dan periksa filter pada jadwal yang teratur.
- Ubah pengaturan sistem pendinginan per perubahan musim untuk menghemat 1-3% dari biaya pendinginan untuk setiap kenaikan 1 derajat setting dari termostat. Lakukan survei kepada staf dan penghuni lain untuk menemukan suhu yang paling nyaman dan paling cocok untuk memenuhi kebutuhan pengaturan iklim lainnya. Mungkin akan ditemukan bahwa beberapa tempat lebih panas atau lebih dingin dari yang sebenarnya dibutuhkan.
- Pasang termostat ke suhu 24-25°C atau lebih tinggi saat tempat kerja dihuni, dan 28°C atau matikan setelah jam kerja.
- Sesuaikan jadwal tempat kerja untuk mengurangi penggunaan energi pada jam-jam dimana terdapat paling banyak mengkonsumsi listrik. Apabila pegawai bekerja lebih awal atau diberikan waktu makan siang pada jam-jam terpanas

Secara umum, *chiller* absorpsi paling efektif di tempat yang memiliki sumber panas yang dibuang dalam bentuk air bersuhu sangat tinggi, atau uap (>100°C).

- dalam satu hari, perusahaan dapat menghemat penggunaan pendingin ruangan, pencahayaan, dan penggunaan listrik lainnya pada jam-jam puncak kebutuhan energi listrik.
- Cegah masuknya sinar matahari dan kehilangan pendinginan udara. Gunakan tirai atau gordena untuk mencegah masuknya sinar matahari. Tutup pintu keluar untuk menjaga udara dingin tidak keluar.
 - Bersihkan filter saluran masuk udara secara teratur guna memastikan hambatan saluran masuk yang rendah. Dengan demikian, kompresor akan mengkonsumsi energi lebih kecil.
 - Ukur pompa dan fan AHU secara tepat dan hindari ukuran yang berlebihan.
 - Atur ulang pompa tiga-fase dengan beban ringan ke pemasangan star delta.
 - Hilangkan sistem aliran sekunder dan aliran-aliran lain yang tidak diperlukan. Ini akan menghemat sistem sebesar 10-20%.
 - Awasi kondisi luar ruangan dan atur ulang suhu air dingin dan air kondensor agar sesuai desain.
 - Gunakan alat pengaturan agar *chiller* bekerja secara sekuensial tepat.

Langkah-langkah dengan Biaya Rendah

- Gunakan udara malam yang lebih dingin untuk mendinginkan gedung.
- Lakukan pemeliharaan teratur untuk menjaga jalannya sistem, ventilasi, dan pendinginan ruangan (HVAC) secara efisien. Aktivitas pemeliharaan dapat menghemat hingga 30% dari energi yang dikonsumsi fan dan hingga 10% dari penggunaan energi untuk mengkondisikan ruangan.
- Kurangi pendinginan ruangan atau matikan sistem saat bangunan gedung tidak dihuni.
- Lakukan pemeliharaan teratur terhadap peralatan pendinginan. Bersihkan koil kondensor, ganti tali kipas dan filter serta perbaiki kebocoran saluran secara teratur. Periksa juga pengoperasian yang tepat dan jumlah refrigeran yang cukup.
- Tambahkan alat kontrol terhadap fan pembuangan. Fan-fan ini bila nyala terus menerus akan membuang biaya proses pendinginan udara. Minta kontraktor pendingin ruangan untuk memasang pengatur waktu dan saklar untuk dapat mematikkannya saat tidak dibutuhkan, seperti saat bangunan gedung sedang tidak dihuni.

- Kurangi kehilangan energi akibat kebocoran udara. Hilangnya energi bersifat proporsional langsung terhadap volume kebocoran udara.
- Periksa pipa-pipa setiap satu tahun sekali dan bersihkan sebagaimana diperlukan.
- Cegah kerak air, *bio-fouling* dan pembentukan *fouling* lainnya dalam pipa pendingin, menara pendingin, dan koil pendingin AHU dengan cara memelihara kualitas air dan melakukan pemeliharaan dan pemeriksaan secara teratur.
- Seringlah periksa bahan pendingin untuk memastikan jumlah yang dibutuhkan telah terpenuhi.
- Arahkan pembuangan udara panas (dapur, ruang diesel, dll.) menjauhi menara pendingin.

Langkah-langkah dengan biaya tinggi

- Integrasikan strategi pendinginan alami ke dalam desain bangunan gedung.
- Pasang pengaturan kecepatan bervariasi (VSD – *variable speed controls*) pada sistem fan.
- Pertimbangkan penggunaan sistem pendinginan alternatif seperti pendinginan matahari, pendinginan dengan absorpsi dan pendinginan dengan air tanah.
- Pasang peralatan pembersihan pipa secara otomatis.

8.2.5 Teknologi Baru

Pendinginan Matahari Menggunakan *Chiller* Absorpsi

Sebagian besar *chiller* jenis absorpsi melalui proses absorpsi menggunakan bahan lithium bromida yang menghasilkan efek pendinginan saat menyerap air. Panas dibutuhkan untuk meregenerasi kembali penyerap tersebut. Secara umum, *chiller* absorpsi dipasang paling efektif di tempat yang memiliki sumber panas yang dibuang dalam bentuk air bersuhu sangat tinggi, atau uap (>100°C). Dalam kasus itupun, mesin-mesin yang digunakan mungkin tidak dapat menangani tuntutan air dingin yang bervariasi.

COP umum adalah 0,7, sehingga *chiller* merupakan solusi baik apabila sumber panas yang memiliki biaya rendah tersedia. Terdapat beberapa contoh *chiller* absorpsi digerakkan oleh energi matahari, meskipun bersifat jarang dikarenakan suhu tinggi yang dibutuhkan untuk mengoperasikan *chiller* tersebut secara efisien. Beberapa *chiller* diakui dapat bekerja dengan suhu air paling rendah 80-95°C, yang dapat diperoleh

dari pemanas matahari pipa yang dievakuasi (*evacuated tube solar heaters*), meskipun masih sedikit sistem pendingin tenaga surya yang terinstalasi secara komersial.

Pendingin Air Tanah

Pada sistem menara pendingin, air hangat disemprotkan dari puncak menara melewati kisi-kisi sarang tawon dengan udara yang ditiup ke atas untuk mendinginkan air. Air yang dingin dikumpulkan pada kolam di bagian bawah unit. Menara pendingin yang umum akan mendinginkan air dari 35°C menjadi 28°C. Penelitian di Thailand mengindikasikan bahwa kolam di tanah dapat memiliki efek pendinginan yang sama dengan menara pendingin, sehingga mengurangi energi yang dibutuhkan untuk mendinginkan air kondensor dari *chiller*.

8.3 Boiler

Di sebagian besar bangunan gedung, jumlah energi terbesar untuk pemanasan digunakan untuk memanaskan air, biasanya untuk proses-proses seperti mencuci atau mandi. Dengan melakukan penataan dan pengendalian pada sistem pemanas air di gedung dapat memberikan kontribusi penghematan energi secara substansial. Untuk mendapatkan efisiensi pada sistem pemanas air maka perlu diperhatikan hal-hal berikut:

- Sumber Pemanasan – Jenis alat yang paling efisien sebaiknya dipilih untuk aplikasi ini, guna menghasilkan panas dan air panas sesuai dengan jumlah yang dibutuhkan.
- Distribusi – Setelah air panas dihasilkan, panas tersebut harus didistribusi secara efisien dan efektif dengan menggunakan media penukar kalor (umumnya air atau udara).
- Sistem kontrol dapat mengatur dan sebaiknya menjamin bahwa panas dan air panas hanya dikirim ke tempat yang membutuhkan, pada waktu dan suhu yang tepat.

8.3.1 Efisiensi Boiler

Boiler umumnya didesain untuk memenuhi kinerja yang paling optimal, namun ini sangat jarang dicapai sehingga efisiensi boiler pada kondisi yang dirancang tidak relevan. Langkah pengoperasian boiler yang baik dengan mendasarkan output panas yang berguna dibandingkan dengan input energi yang digunakan.

Efisiensi boiler yang umum adalah:

- Boiler kondensasi – 85-90%
- Boiler dengan efisiensi tinggi – 70-82%
- Boiler tua – 50-70%

Boiler kondensasi (*condensing boilers*) memiliki efisiensi lebih karena adanya penukar kalor sekunder, yang akan mengkondensasikan uap air dari produk pembakaran yang tadinya akan mengalami penguapan pada pipa gas buang. Panas laten dari proses kondensasi diambil kembali dan dimanfaatkan sebagai sistem pemanasan. Pada mode diluar fasa kondensasi sekalipun, efisiensi minimum masih sekitar 85%. Dalam hal efisiensi, terdapat pula keanehan pada boiler kondensasi, karena boiler dapat bekerja pada beban parsial (*part load*). Boiler dapat menghabiskan banyak waktu dalam kondisi tidak dipakai, sehingga kerugian yang timbul dapat menjadi signifikan.

Pengaturan damper pada sisi masukan burner atau keluaran gas buang melalui proses *retrofitting*, dapat menurunkan konsumsi energi dengan mengurangi kehilangan panas yang diakibatkan oleh udara yang melewati boiler.

Untuk memenuhi kebutuhan air panas pada beban yang dapat bervariasi, akan lebih menguntungkan bila memasang sejumlah boiler kecil dengan pengaturan rangkaian dibandingkan menginstalasi satu boiler besar yang beroperasi pada tingkat efisiensi rendah pada saat beban sedikit. Dengan multi boiler, bila beban kebutuhan air panasnya sedikit cukup beberapa boiler kecil beroperasi pada beban parsial yang tinggi, namun pada saat beban air panas tinggi, keseluruhan boiler dapat dioperasikan bersamaan. Dengan menggunakan katup pengaturan multi boiler, akan menjamin kinerja boiler selalu pada kondisi optimal.

8.3.2 Distribusi Uap dan Air Panas

Tujuan dari sistem distribusi air panas dan uap adalah untuk mengirimkan uap dan air panas dari peralatan boiler secara efisien menuju alat pemanasan yang dibutuhkan oleh pengguna. Uap air panas yang telah terkondensasi dengan suhu yang masih relatif tinggi masih bisa dialirkan kembali ke boiler untuk pemanasan awal.

Panas akan hilang melalui radiasi panas permukaan boiler dan dari sistem distribusi uap dan air panas melalui saluran, katup, pipa, dan tangki penyimpanan air panas. Panjang pipa sebaiknya pendek dengan siku-siku minimal

Di sebagian besar bangunan gedung, jumlah energi terbesar untuk pemanasan digunakan untuk memanaskan air, biasanya untuk proses-proses seperti mencuci atau mandi.

Keberadaan aliran energi 'terbuang' dari suatu proses, dapat merupakan kesempatan untuk penggunaan energi suhu rendah yang tersisa untuk proses lain.

untuk mengurangi hambatan aliran dan daya pompa. Seluruh bagian dari sistem sebaiknya diisolasi dengan baik, termasuk katup dan flens yang dapat diisolasi menggunakan produk 'wraparound', yang dapat dengan mudah dibuka dan diganti untuk pemeliharaan pipa.

Panas seharusnya hanya digunakan untuk produksi air panas di tempat dan di saat yang dibutuhkan. Jika memungkinkan, boiler besar sebaiknya tidak dioperasikan untuk memenuhi beban kecil karena efisiensi operasi akan sangat rendah.

8.3.3 Memanfaatkan Panas Buang

Proses pemanfaatan panas buang (*heat recovery*) adalah salah satu cara paling efektif untuk mengoptimasi efisiensi energi pada saat pengoperasian bangunan gedung. Udara yang dikeluarkan dari sistem HVAC adalah sumber utama dari panas terbuang bisa dimanfaatkan kembali. Pemanfaatan udara buang dari ruang ber AC dengan menggunakan alat penukar kalor dapat digunakan untuk mendinginkan udara segar yang akan di masukkan ke gedung sebagai udara catu sistem pendingin.

Sejumlah teknologi untuk mendapatkan panas kembali telah tersedia, termasuk *rotary heat wheels*, *plate-and-frame heat exchangers*, *runaround coils*, dan *heat pipes*. Setiap teknologi tersebut dikhususkan untuk aplikasi tertentu.

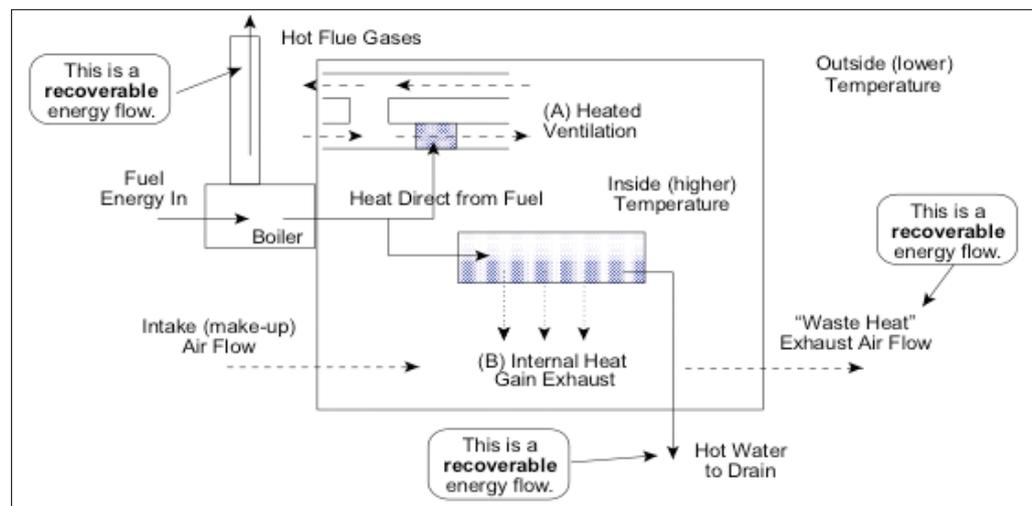
Gambar 42 menunjukkan diagram sederhana dengan prinsip-prinsip pemanfaatan kembali panas buang. Aliran-aliran energi ini dinamakan aliran energi terbuang karena tidak dibutuhkan lagi oleh proses setelah dikeluarkan. Namun

demikian, aliran energi tersebut dapat berguna untuk proses lain atau sistem pemanfaatan energi terbuang dalam bentuk energi lain.

Keberadaan aliran energi 'terbuang' dari suatu proses, dapat merupakan kesempatan untuk penggunaan energi suhu rendah yang tersisa untuk proses lain. Sebagaimana disebutkan dalam prinsip termodinamika dasar, panas hanya dapat mengalir secara spontan dari benda panas ke benda dingin, dan upaya apapun untuk meningkatkan suhu dari proses harus melibatkan penggunaan "sumber" yang lebih panas. Sumber ini hanya berguna (untuk proses tersebut) asal suhunya lebih tinggi daripada "penampung/sink" yang ingin dipasoknya. Pada titik suhu yang sama, suplai panas tidak akan mengalir lagi dan sejumlah kalor inilah yang seringkali terbuang percuma.

Namun, apabila suplai kalor lebih bersifat panas daripada suhu yang dibutuhkan (contohnya, air pendingin memiliki suhu 40°C lebih tinggi daripada yang dibutuhkan untuk pemanasan ruang), maka panas ini sebaiknya tidak lagi dianggap sebagai energi yang "terbuang", namun sebagai suplai energi yang berguna dan dapat digunakan untuk penghematan.

Proses pemanfaatan kalor buang untuk memindahkan energi kalor dari satu sistem ke sistem yang lain dengan menggunakan alat penukar kalor (*heat exchanger*). Dalam menentukan kemampuan penukar kalor harus mengetahui ketersediaan sumber panas dan penampung kalor (*heat sink*) dalam hal aliran, kapasitas panas spesifik, dan suhu saluran masuk. Dengan menyeimbangkan energi-energi dalam dua aliran tersebut, maka ukuran dan kemampuan



Gambar 42. Contoh Sederhana Pendapatan Kembali Energi yang Terbuang

Jenis	Media	Alat Penukar	Penggunaan
Perolehan kembali panas secara langsung	Gas - Gas	Cross Flow	Penukar udara komersil
		Rotary	Perolehan kembali panas gas buang
		Regenerative	Saluran pembuangan bersuhu tinggi/rendah
	Cair - Cair	Shell & Tube	Air Proses, Pendingin Minyak
		Spiral	Pendinginan tekanan tinggi
		Plate & Frame	Air proses, dairy
		Heliflow	Pendingin minyak
	Gas - Cair	Recovery Boiler	Mesin saluran pembuangan, tungku pembakaran
		Evaporatif	Pendinginan oleh air, pelembaban, dan exhaust gas scrubber
		Pendinginan udara	Pendingin minyak, pemanasan ruang

Tabel 13. Perolehan Kembali Panas secara Langsung

Jenis	Media	Alat Penukar	Penggunaan
Perolehan kembali panas secara tidak langsung	Termal- Termal	Pompa panas	Pemanasan ruang, produksi air panas
		Pendingin absorpsi	Pendinginan air, pemanasan ruang
		Flash Tank	Boiler Blow down
		Kompresi Uap Mekanis	Memproses gula, memasak bir
		Gas buang proses pembakaraan	Sewage Treatment, Foundries
	Termal- Mekanikal/ Elektrikal	Turbin Perluasan	Pabrik Kimia
		Rankine Cycle	Gas Buangan Bersuhu Tinggi

Tabel 14. Perolehan Kembali Panas Secara Tidak Langsung

dari penukar kalor yang dibutuhkan dapat ditentukan. Tabel 13 dan Tabel 14 merangkum tipe-tipe penukar kalor yang tersedia dengan daftar aplikasinya, yang mana sebagian besar merupakan untuk industri, namun beberapa juga dapat diaplikasikan pada bangunan gedung.

Metode pemanfaatan kembali kalor buang terbagi ke dalam dua kategori:

- Pemanfaatan kalor buang secara langsung – Perolehan kalor kembali secara Langsung mengacu pada pemindahan

energi dari satu aliran ke aliran lain tanpa menambah energi dari sumber luar. Energi yang dipindahkan akan menurun, karena panas hanya dapat mengalir dari “sumber” panas ke penampung dingin, namun perbedaan antara kedua suhu ini cukup serendah beberapa derajat, tergantung pada desain “penampung kalor”.

- Pemanfaatan kalor buang secara tidak langsung – Perolehan kalor kembali secara tidak langsung melalui konversi energi dari satu bentuk ke bentuk lain, kemungkinan melalui penambahan energi luar. Proses

Karena model yang efisien membutuhkan bahan yang melawan korosi dan alat kontrol yang kompleks, model tersebut memakan biaya tiga kali lebih banyak daripada boiler konvensional.

ini umumnya dipilih karena tingkat mendapatkan energi kembali relatif rendah namun dengan kapasitas yang besar. Selain itu juga tambahan energi dari luar perlu teknologi tinggi (pembangkitan listrik atau tambahan bahan bakar).

8.3.4 Strategi Efisiensi Energi untuk Boiler

Daftar langkah-langkah operasional dan pemeliharaan berikut adalah bagian penting dari strategi meng-upgrade sistem boiler secara menyeluruh dan dapat memberikan penghematan energi secara signifikan:

- Dibuat sebuah program pengelolaan air secara total. Sistem ini akan mencegah terjadinya perpindahan kalor yang tumpang tindih dan penumpukan deposit yang menyebabkan pemborosan energi akibat friksi yang tinggi.
- Periksa rasio udara-bahan bakar secara periodik. Apabila pemasangan sistem kontrol pembakaran boiler tidak efektif secara biaya, periksa dan tera-ulang secara periodik hal-hal berikut: suhu cerobong, udara berlebih, CO, CO₂, jelaga, dan NOX. Pemeriksaan dan peneraan ulang dapat dilakukan menggunakan peralatan ukur portabel (Gas analyzers). Data ini akan menunjukkan inefisiensi dalam proses pembakaran.
- Setel ulang tekanan dalam boiler secara periodik. Apabil pengaturan setel ulang suhu/tekanan tidak digunakan, tinjaulah suhu yang dibutuhkan secara periodik dan setel ulang boiler pada tekanan minimum yang dibutuhkan.
- Tinjau tingkat *feed-water* dan *blow-down*. Ini akan membantu melarutkan benda-benda padat yang dapat merusak sistem dan menyebabkan pemborosan energi.
- Identifikasi dan perbaiki kebocoran uap. Kebocoran uap akan menghabiskan energi dan dapat merusak ruang di sekitarnya.
- Hilangkan kerak air dari permukaan penukar-kalor boiler. Kerak air menurunkan kemampuan pemindahan panas dari penukar kalor.

Pertimbangkan penggantian boiler yang sudah tua dengan boiler baru, hemat energi, dan berukuran sesuai dengan kebutuhan untuk mendapatkan sistem yang paling optimal dalam tahapan meng-upgrade gedung. Meskipun boiler pemanfaatan gas buang dalam stok komersil rata-rata memiliki efisiensi pembakaran 76%

(100% apabila dikurangi kehilangan energi pada cerobong gas), boiler komersil baru yang berbahan bakar gas memiliki efisiensi pembakaran rata-rata 80%, dan boiler berefisiensi tinggi yang dibuat dengan penukar panas kondensor memiliki efisiensi pembakaran setinggi 90%.

Karena model yang efisien membutuhkan bahan yang anti korosi dan alat kontrol yang kompleks, model tersebut memakan biaya tiga kali lebih banyak daripada boiler konvensional. Namun demikian, sistem boiler kondensor yang berukuran tepat umumnya akan mengalahkan sistem boiler yang kurang efisien dalam hal biaya siklus-hidup (boiler memiliki umur rata-rata 25 tahun). Untuk menentukan penggantian sistem boiler, perlu perhitungan penghematan energi dengan cara membandingkan konsumsi energi pada tingkat beban yang berbeda untuk sistem boiler lama dan baru. Perhitungan ini dapat bersifat kompleks, sehingga mungkin akan lebih baik apabila dilakukan konsultasi dengan perusahaan, konsultan, atau pembuat boiler sebagai bantuan.

Sejumlah boiler berukuran kecil dapat dikelompokkan secara paralel untuk menyediakan kapasitas pemanasan secara bertahap. Pendekatan ini biasanya lebih hemat dan efisien dibandingkan penggunaan satu boiler besar karena:

- Boiler dapat dirancang untuk beroperasi pada titik efisiensi tertinggi, atau mendekati titik tersebut.
- Boiler kecil lebih efisien dibandingkan boiler komersil yang besar.
- Boiler yang banyak dengan kapasitas sama mempunyai sifat *redundancy*, yang akan mengurangi *downtime system*.
- Boiler kecil dapat mengurangi biaya instalasi karena setiap boiler cukup kecil untuk ditangani tanpa bantuan alat-alat berat.

Pendekatan boiler dalam jumlah banyak juga dapat digunakan sebagai langkah *retrofitting* untuk meningkatkan efisiensi musiman dari boiler yang sudah berumur, tidak efisien, dan besar. Sebuah boiler kecil yang modern dan berefisiensi tinggi dapat dipasangkan dengan boiler yang lama – boiler yang kecil akan menangani beban pemanasan dasar dan boiler yang besar hanya akan dipanaskan apabila dibutuhkan untuk memenuhi tuntutan tinggi.

Saat penggantian boiler tidak dimungkinkan, terdapat berbagai pilihan *retrofitting* yang akan meningkatkan efisiensi dari sistem boiler yang sudah ada, seperti:

- Mengisolasi saluran distribusi air panas.
- Memasang alat kontrol pada motor pompa distribusi air panas. Langkah ini paling efektif dalam bangunan gedung besar ketika energi untuk pemompaan berjumlah signifikan, dan di saat digunakan bersama dengan boiler kondensor. Hati-hati dengan boiler non-kondensor karena tingkat aliran rendah dapat menyebabkan kondensasi dan korosi gas pipa asap dalam boiler.
- Memasang sistem pengaturan dan pengawasan pembakaran. Gunakan data pengawasan untuk mengurangi udara berlebihan dari boiler dan/atau memasang alat kontrol otomatis untuk pengurangan oksigen.
- Memasang alat kontrol untuk menurunkan suhu air tampungan pada jam-jam bangunan gedung tidak dihuni. Ini menghemat energi melalui pengurangan produksi panas saat pemeliharaan kenyamanan penghuni tidak dibutuhkan.
- Memasang sistem pengaturan *blow down* yang otomatis. Ini akan membantu melarutkan benda-benda padat yang dapat merusak peralatan dan berakibat pada pembuangan energi (tergantung pada konsentrasi yang ada).
- Memasang penghemat energi pada cerobong (*stack economizer*). Penghemat cerobong dapat menangkap panas yang terbuang dari gas buang dan digunakan untuk memanaskan air masukan untuk boiler.
- Memasang *baffle inserts*. Ini akan memicu gas-gas pembakaran untuk mengalir dalam pola spiral yang mengalir secara turbulensi, yang akan meningkatkan efisiensi pemindahan panas.
- Memasang lubang angin untuk pemasukan udara luar untuk boiler. Ini mengurangi atau menghilangkan infiltrasi udara bangunan gedung yang disebabkan oleh pengoperasian boiler.
- Mengisolasi distribusi sistem dan memanfaatkan kembali kondensat yang suhunya masih tinggi. Isolasi akan mencegah kehilangan panas sepanjang sistem.

8.3.5 Langkah-langkah Tanpa Biaya, Biaya Rendah, dan Biaya Tinggi untuk Bangunan Gedung yang Telah Ada

Langkah-langkah Tanpa Biaya

- Periksa bahwa alat kontrol yang sudah ada disetel secara tepat dan bekerja baik.
- Periksa bahwa sensor diletakkan secara tepat dan tidak dihalangi atau rusak.
- Periksa bahwa boiler tidak berputar secara cepat pada beban rendah.
- Hindari pengoperasian boiler secara redudansi.
- Periksa secara teratur efisiensi pembakaran dan suhu gas buang.
- Bersihkan permukaan yang digunakan untuk mendapatkan panas kembali untuk sistem pemanasan tidak langsung, seperti koil aliran, pipa radian dan elemen elektrikal lainnya. Langkah ini dapat menghemat antara 5-15% dari penggunaan energi.

Langkah-langkah Biaya Rendah

- Gunakan pemanas air listrik lokal pada titik yang jauh dari boiler pusat.
- Isolasi uap dan aliran pengembalian kondensat dan pastikan bahwa isolasi pipa dan boiler sudah tepat. Isolasi dapat mengurangi konsumsi energi fasilitas total sebesar 1% dan membantu menjamin tekanan uap yang tepat pada peralatan.
- Periksa dan pelihara perangkat aliran (*Steam trap*). Dalam sistem yang memiliki program pemeliharaan perangkat yang terjadwal secara teratur, sebuah fasilitas dapat menghemat 2% dari penggunaan energi totalnya dan 10-20% dari penggunaan bahan bakar oleh boiler.
- Implementasikan teknik manajemen beban boiler. Contohnya, pengoperasian pada setting pengapian tinggi atau pemasangan boiler yang lebih kecil dapat menghemat hingga lebih dari 7% penggunaan energi total pada sebuah fasilitas umum.

Langkah-langkah Biaya Tinggi

- Pertimbangkan sistem pemanasan yang teknologinya lebih baru pada tahap desain atau tahap penggantian (CHP, pompa panas, boiler dengan kondensor dll.)
- Pasang pemanas matahari untuk

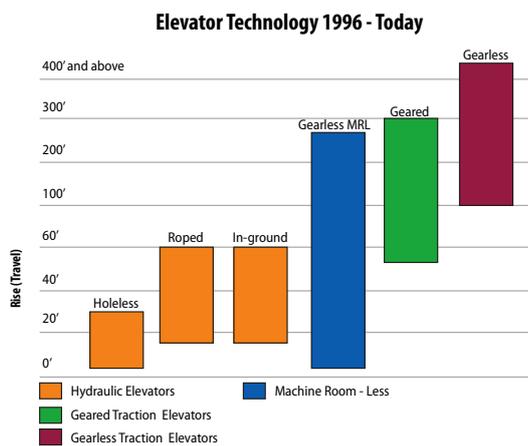
Saat penggantian boiler tidak dimungkinkan, terdapat berbagai pilihan retrofitting yang akan meningkatkan efisiensi dari sistem boiler yang sudah ada

- penyediaan air panas.
- Alat kontrol untuk pengurangan oksigen.
- Gunakan pembakar yang mengintegrasikan fan udara dengan variabel kecepatan.
- Integrasi Sistem Manajemen Energi Bangunan Gedung (SMEBG).

8.4 Sistem Transportasi Gedung

Pertimbangan efisiensi energi saat merencanakan sistem transportasi dalam bangunan gedung seperti eskalator, lift, dll.

Sistem elevator atau lift umumnya dirancang secara individual untuk setiap penggunaan. Setiap komponen dalam sistem memiliki kontribusi berbeda terhadap efisiensi lift secara menyeluruh. Semua lift memiliki elemen yang umum, terlepas dari prinsip bekerjanya, meliputi "car" (juga disebut "kandang" atau "taksi"), pintu, cahaya,



Gambar 43. Teknologi Lift

ventilasi, motor dan alat pengontrol. Terdapat tiga kelas utama lift: hidrolik, tenaga traksi, dan tanpa ruang mesin (MRL – *machine-room-less*). Lift yang menggunakan tenaga traksi dapat dikategorikan lagi ke dalam dua kategori: dengan persneling dan tanpa persneling.

Eskalator adalah unit pengangkut beban yang didesain untuk mentransportasi orang antara dua tujuan yang berbeda. Eskalator digerakkan oleh motor listrik dan menggerakkan anak tangga dan rel tangan pada kecepatan yang disinkronisasi. Eskalator didukung oleh tiang penopang yang terdiri dari seluruh komponen mekanikal, seperti unit penggerak, rem dan rantai.

Eskalator umumnya memiliki kecepatan sekitar 0,5 m/s – cukup cepat untuk menyebabkan pemindahan yang cepat tanpa mengabaikan kenyamanan dan keselamatan. Eskalator digunakan dalam gedung komersil maupun dalam fasilitas transportasi publik seperti bandara, metro dan stasiun rel kereta. Untuk transportasi troli antara dua lantai, anak tangga diganti dengan jalanan datar yang bergerak menanjak. Di bandara, jalanan datar yang bergerak secara horizontal dipasang untuk memindahkan penumpang lebih cepat menuju tujuannya.

Perkembangan teknologi hemat energi mengambil pendekatan-pendekatan berbeda dalam menangani faktor-faktor penyebab ketidakefisienan dalam sistem transportasi vertikal. Faktor penyebab ini dapat dibagi ke dalam dua kelompok utama: langsung dan tidak langsung. Penyebab langsung adalah faktor yang

	Kecepatan	Ukuran motor	Konsumsi energi	Kehilangan termal	Tinggi perpindahan maksimum
	m/s	kW	kWh/year	BTU	m
Hidrolik	0.762	30	28000	9000	9
Traksi tradisional (dengan persneling)	1.016	16.5	30600	9450	90
MRL (tanpa persneling)	0.762 - 2.54	6	8600	3700	85

Tabel 15. Perbandingan Teknologi Lift (New Elevator Technology: The Machine Room-Less Elevator by Karin Tetlow)

dapat dihubungkan secara langsung terhadap peralatan. Kerugian langsung yang paling umum adalah:

- Rugi-rugi friksi
- Rugi-rugi transmisi
- Rugi-rugi motor
- Rugi-rugi rem
- Rugi-rugi pencahayaan
- Rugi-rugi alat kontrol

Penyebab tidak langsung berhubungan dengan pengoperasian peralatan dan diasosiasikan dengan perilaku pengguna atau pilihan manajemen lalu lintas.

8.4.1 Jalan menuju Efisiensi Lebih Tinggi

Motor dan Pembangkit Tenaga

Motor dan penggerak yang lebih baru mungkin akan memiliki frekuensi variabel dan voltase variabel (VVVF) yang membuatnya lebih efisien. Sistem yang lebih mutakhir lainnya adalah menggabungkan motor listrik dan magnet permanen yang tidak memiliki gulungan rotor.

Alat kontrol

Sistem yang sederhana memungkinkan pengontrolan secara teratur, seperti mematikan lift pada malam hari dan pada akhir pekan. Beberapa sistem dapat belajar memposisikan "car" pada waktu tertentu, seperti misalnya membuat seluruh lift kembali ke lobby di pagi hari, sehingga mengurangi waktu menunggu.

Beberapa jenis alat kontrol akan menghemat energi secara otomatis dengan cara mencocokkan jumlah lift aktif dengan beban yang ada pada interval waktu tersebut.

Regenerasi

Sistem lift juga disempurnakan dengan penyimpanan energi sehingga penggunaan energi total hampir nol setelah beberapa waktu, karena energi yang dibutuhkan untuk mengangkat orang menuju lantai atas akan didapatkan kembali saat kembali ke lantai dasar. Pada lift tanpa sistem regenerasi, energi yang diperoleh saat kembali ke lantai dasar akan hilang dalam bentuk panas yang tidak teratur yang keluar dari motor atau celah mekanikal.

Pada sistem lift baru yang memiliki regenerasi, energi yang diperoleh akan diubah menjadi listrik dan dapat disimpan atau diberikan pada fasilitas lain di bangunan gedung.

Untuk simulasi bangunan gedung komersil 15-lantai dan simulasi tempat tinggal 25-lantai, regenerasi mengurangi penggunaan listrik hingga 30% secara relatif terhadap sistem motor traksi dengan persneling sebagai kasus acuan. (*Enermodal Engineering Limited 2004, Market Assessment for Energy Efficient Elevators and Escalators, Final Report*).

Motor dan pembangkit tenaga yang lebih baru mungkin akan memiliki frekuensi variabel dan voltase variabel (VVVF) yang membuatnya lebih efisien.

8.4.2 Langkah-langkah Tanpa Biaya, Biaya Rendah, dan Biaya Tinggi untuk Bangunan Gedung yang telah ada

Langkah-langkah Tanpa Biaya

- Periksa penggunaan energi lift dan eskalator secara teratur.
- Lakukan pemeliharaan teratur terhadap motor lift dan eskalator.
- Pastikan bahwa mode hemat energi/mode tidur bekerja dengan baik.

Langkah-langkah Biaya Rendah

- Hiasi tangga untuk mendorong penggunaan tangga.
- Ganti pencahayaan dalam lift dengan lampu yang efisien energi.
- Tinjau lalu lintas orang dan sesuaikan pengaturan lift.

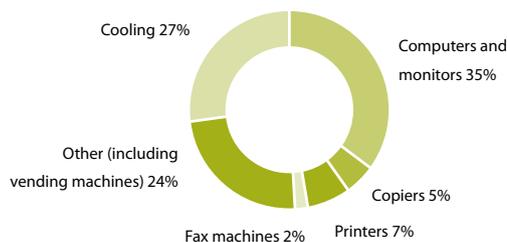
Langkah-langkah Biaya Tinggi

- Pasang peralatan regenerasi energi.
- Integrasi Sistem Manajemen Energi Bangunan Gedung (SMEBG)

8.5 Sistem Elektrikal

Pertimbangan efisiensi energi dengan perencanaan, pemasangan, dan manajemen sistem elektrikal.

Selain HVAC, pencahayaan, dan sistem transportasi gedung, terdapat beberapa sistem elektrikal lainnya dalam bangunan. Bagian sistem data dan keamanan akan meliputi komputer,



Gambar44. Penggunaan Energi Peralatan Kantor Secara Umum

Sebagaimana sebagian besar sistem kebakaran dan keselamatan didukung oleh tenaga baterai, dapat mempertimbangkan penggunaan tenaga matahari untuk membangkitkan dan mengisi ulang peralatan ini.

CCTV, server, dll. Pada bagian ini, peralatan seperti *microwave*, boiler elektrikal dan peralatan kantor seperti *printer*, mesin fotokopi, dan pintu otomatis akan dibahas.

Peralatan kantor mempunyai variasi yang banyak dari sisi konsumsinya. Beberapa peralatan mungkin sangat efisien, namun yang lain tidak. Sebagai pemilik gedung, peralatan kantor adalah bagian dari penggunaan energi bangunan gedung dan dapat dikendalikan dengan mendidik penghuni bangunan dan, apabila diizinkan, memiliki kebijakan bahwa hanya peralatan dengan tingkat energi tertentu yang boleh digunakan. Langkah pertama yang penting dalam mengurangi konsumsi energi untuk peralatan kantor adalah meninjau kebijakan belanja dan spesifikasi mesin dan peralatan.

Organisasi apapun yang sering membeli atau menyewa peralatan kantor secara teratur seharusnya memiliki kebijakan jelas yang:

- Mendefinisikan objektif dan target untuk peralatan kantor.
- Menjelaskan tanggung jawab dari pengguna peralatan.
- Mendeskripsikan tanggung jawab dari mereka yang membeli peralatan kantor untuk memastikan bahwa biaya efektif dan peralatan yang hemat energi didapatkan.

Peralatan kantor yang memiliki sistem hemat energi yang terintegrasi sebaiknya diidentifikasi, dan dipastikan bahwa sistem tersebut telah aktif. Dengan adanya upaya pemerintah Indonesia untuk memberikan label energi untuk peralatan elektrikal, seharusnya lebih mudah untuk memspesifikasikan kebijakan peralatan yang efisien di masa depan setelah proses pemberian label selesai.

Faktor penting lainnya adalah pemeliharaan peralatan. Seiring dengan bertambahnya umur peralatan, efisiensi energi yang dimiliki oleh peralatan tersebut menurun, namun pemeliharaan yang tepat dapat membantu menjaga efisiensi yang lebih baik.

Apabila terdapat bagian yang bergerak dalam sistem elektrikal, cara lain untuk meningkatkan efisiensi adalah dengan meng-*upgrade* sistem pelumas dan kehandalan sistem. Beberapa perusahaan telah berhasil mendokumentasikan pengurangan penggunaan energi sebesar 5-15% dengan praktek-praktek tersebut. Penghematan rata-rata yang didokumentasi adalah 15%

untuk kotak persneling, 12% untuk kompresor udara, dan 4% untuk motor elektrikal. (Artikel worldcement.com "Lowering Energy Consumption using Lubricants" oleh John Sander – September 2010)

8.5.1 Langkah-langkah Tanpa Biaya, Biaya Rendah, dan Biaya Tinggi untuk Bangunan Gedung yang Telah Ada

Langkah-langkah Bebas Biaya

- Didik seluruh penghuni kantor dan ciptakanlah budaya "mematikan" terkait peralatan elektronik untuk menghemat energi dan mengurangi perolehan panas.
- Pasang program hemat energi pada komputer.
- Dorong penggunaan *screen saver* menjadi "hemat energi".
- Jangan tinggalkan peralatan dalam kondisi menyala.

Langkah-langkah Biaya Rendah

- Pasang pengatur waktu pada *vending machines* dan peralatan lain yang sesuai.
- Buatlah program pembelian untuk mendorong pembelian peralatan yang hemat energi.
- Lakukan penyeimbangan beban listrik antar fasa.
- Pelihara transformator secara teratur.

Langkah-langkah Biaya Tinggi

- Beli peralatan yang menggunakan energi lebih sedikit dan/atau memiliki fitur hemat energi.
- Beli tampilan layar datar untuk komputer desktop.
- Ganti bank kapasitor yang berukuran atau memiliki desain berlebihan dengan bank kapasitor yang memiliki kapasitas lebih kecil.

8.6 Sistem Kebakaran dan Keselamatan

8.6.1 Pertimbangan Efisiensi Energi untuk Sistem Kebakaran dan Keselamatan

Saat mendesain untuk efisiensi energi, faktor kebakaran dan keselamatan dari bangunan gedung tidak dapat dikompromi. Sebagaimana sebagian besar sistem kebakaran dan keselamatan didukung oleh tenaga baterai, maka dapat mempertimbangkan penggunaan tenaga matahari untuk membangkitkan dan mengisi

ulang peralatan ini.

8.7 Sistem Data & Keamanan

8.7.1 Pertimbangan EE untuk Sistem Data dan Keamanan

Sistem data dan keamanan mencakup *server*, penyimpanan dalam jaringan, komputer, monitor, sistem CCTV, router jaringan, dll. Dengan isu-isu yang mendunia terhadap efisiensi energi, produsen kini membuat lebih banyak sistem dengan efisiensi energi lebih tinggi. Perubahan sederhana dari monitor CRT ke monitor LED untuk komputer akan menghemat bangunan gedung dalam hal konsumsi daya listrik dan pengurangan beban panas.

Sistem data dan keamanan lainnya mungkin memiliki mode hemat energi saat aktivitas lagi sedikit.

8.8 Air

8.8.1 Pengaruh Air dan Pendaaran Ulang terhadap Efisiensi Energi

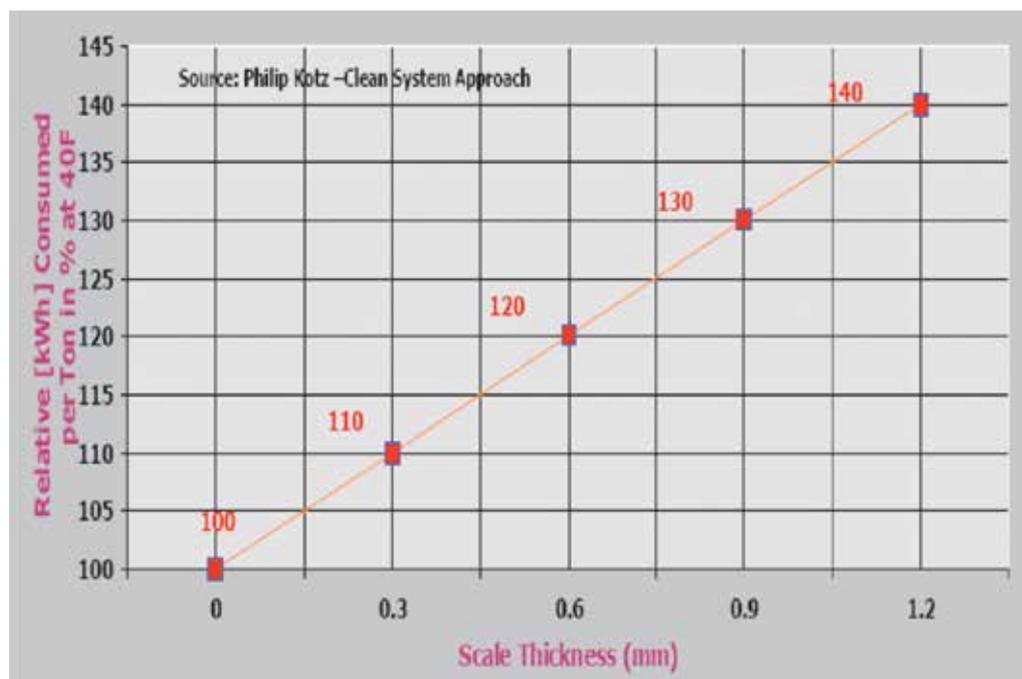
Banyak orang yang tidak sadar akan hubungan antara kualitas air dan efisiensi energi.

Air dengan tingkat kesadahan yang tinggi menghasilkan kerak air, dan air yang tidak dirawat dapat menyebabkan *fouling* yang akan menghambat pemindahan panas. Penghambatan pemindahan panas berarti energi yang lebih

banyak akan dikonsumsi untuk mencapai hasil yang sama. Perpindahan kalor pada bangunan gedung terjadi dalam proses pemanasan dan pendinginan apapun yang menggunakan air, termasuk pemanasan air, coil unit pengolah udara (AHU – air handling unit) dan *chiller* yang didinginkan oleh air.

Menurut Phillip Kotz dalam "*Clean system Approach to Air Conditioning Heating, Piping and Air Conditioning Journal*", kerak air sebesar 0,32 mm akan menyebabkan konsumsi energi tambahan sebesar 12% per Ton untuk *chiller* yang didinginkan oleh air.

Penimbunan kerak air dapat dilihat dengan mengawasi suhu "*approach*" *chiller*, yaitu perbedaan antara suhu bahan pendingin dan suhu air. Suhu "*approach*" sebaiknya diawasi pada sisi kondensasi dan evaporasi pada beban 100%, atau beban maksimum. Sebagian besar produsen *chiller* akan menuliskan daftar suhu "*approach*" maksimum yang direkomendasikan, dan suhu "*approach*" yang lebih besar dari angka tersebut akan dianggap tidak efisien dan butuh tindakan segera, yang berarti pembersihan pipa pendinginan. Contohnya, rekomendasi umum untuk suhu "*approach*" kondensor maksimum adalah 4°F, yaitu 2,2°C. Suhu apa pun yang berada di atas 2,2°C akan membutuhkan tindakan segera; jika tidak, *chiller* akan mengonsumsi energi tambahan dan menjadi tidak efisien. Tren meningkat dalam suhu "*approach*" berarti sistem memiliki kerak air atau *fouling* dalam *chiller*.



Gambar 45. Konsumsi Energi Tambahan yang Disebabkan Kerak Air

Dengan meningkatnya harga dan semakin langkanya air bersih, banyak kota mulai mengaplikasikan persyaratan wajib untuk gedung komersil untuk mengimplementasi pendauran ulang air.

Secara umum, tindakan pencegahan terhadap kerak air dan *fouling* jauh lebih efektif dan lebih murah dalam jangka panjang dibandingkan tindakan perbaikan setelah terdapat kerak air dan *fouling*. Tindakan pencegahan dapat berbentuk merawat air sebelumnya untuk mengurangi faktor-faktor *fouling* dan kerak air, perawatan air yang baik, pengawasan secara teratur, dan pemeliharaan teratur pada sistem yang menggunakan air.

Perawatan air adalah isu kompleks apabila lingkungan dan peristiwa di sekitar seperti hujan dapat mempengaruhi kualitas air secara signifikan. Oleh karena itu, program perawatan air yang buruk yang mengharuskan pemberian bahan kimia dalam jumlah spesifik secara teratur tanpa pengawasan kualitas air dan tidak memungkinkan penyesuaian saat kualitas air menurun akan mengakibatkan biaya operasional yang tinggi dan penghilangan kerak air yang lebih sering.

Secara umum, ahli air akan mengadakan uji contoh air sebelum mendesain sistem air sebelum perawatan dan sistem perawatan air. Sering mengawasi kualitas air adalah kunci terhadap keberhasilan perawatan air sebagai tindakan dini untuk mencegah penimbunan kerak air dan *fouling* yang lebih lanjut. Parameter untuk mengawasi dapat bervariasi dari tempat ke tempat yang lain, sehingga harus ditangani secara spesifik. Namun, sebagai batas minimum, sebagian besar proses pengawasan sebaiknya menggunakan Indeks Kejenuhan Langelier sepanjang waktu untuk mengetahui potensi kerak air.

Saat menggunakan *chiller*, cara yang mudah untuk mengawasi adanya masalah *fouling* atau kerak air pada *chiller* adalah dengan mencatat suhu *approach* dari sisi *evaporator* (putaran tertutup melalui bangunan) dan sisi kondensasi (menara pendingin). Tren meningkat dalam suhu *approach* mengindikasikan bahwa terdapat kerak air atau *fouling* dalam *chiller*, namun konsultasikanlah panduan penggunaan *chiller* terlebih dahulu karena setiap *chiller* memiliki kisaran suhu *approach* sendiri.

8.8.2 Servis Pemanas Air

Pemanas air umumnya membutuhkan servis secara teratur. Sebagian besar penggunaan energi yang tidak efisien dalam proses pemanasan air terjadi saat elemen pemanasan air (atau medium penukar panas lainnya) terjadi timbunan kerak

dan *fouling*, sehingga menurunkan potensi untuk memanaskan air. Kerak air akan mengurangi pemindahan kalor dari elemen penukar kalor ke air, dan saat kerak air menghambat, pemanas air menggunakan energi lebih banyak untuk memanaskan air ke suhu yang sudah ditentukan sebelumnya. Oleh karena itu, elemen pemanas listrik perlu diperiksa secara sering, sementara alat pemeriksa suhunya akan membutuhkan pemeriksaan dan kalibrasi secara periodik.

8.8.3 Pendauran Ulang dan Penggunaan Ulang Air

Dengan meningkatnya harga dan semakin langkanya air bersih, banyak kota mulai mengaplikasikan persyaratan wajib untuk gedung komersil untuk mengimplementasi pendauran ulang air. Sebagian besar air yang didaur ulang kini digunakan untuk fungsi non-minuman, seperti mengairi tanaman, air untuk toilet dan air *makeup* untuk menara pendingin.

Pendauran ulang air umumnya meliputi tiga tahap:

- Perawatan primer – untuk sementara, letakkan pembuangan kotoran dalam kolam tidak aktif dimana padatan-padatan yang berat dapat menuju bawah kolam sementara minyak, oli, dan padatan yang lebih ringan akan mengambang ke permukaan. Bahan yang telah berada di bawah dan yang mengambang dihilangkan dan sisa cairan dapat disalurkan ke perawatan sekunder.
- Perawatan sekunder – menghilangkan bahan organik yang telah larut atau tersuspensi. Perawatan sekunder umumnya dilakukan oleh mikroorganisme yang terdapat dalam air dalam kawasan lingkungan yang terawat. Perawatan sekunder mungkin membutuhkan proses terpisah untuk menghilangkan mikroorganisme dari air yang sudah terawat sebelum penyaluran ke perawatan tersier.
- Perawatan tersier dapat didefinisikan sebagai apapun yang melebihi perawatan primer dan sekunder untuk memungkinkan pencegahan ekosistem yang sangat sensitif atau sangat rapuh (muara air, sungai beraliran rendah, terumbu karang). Air yang sudah terawat adakalanya diinfeksi dengan bahan kimia atau secara fisik (contohnya, danau di pinggir laut dan filtrasi-mikro) sebelum disalurkan ke dalam aliran, sungai, danau di pinggir laut atau sawah, atau dapat

juga digunakan untuk irigasi lapangan golf, jalan hijau atau taman. Apabila sudah cukup bersih, air ini dapat digunakan untuk menghidupkan kembali air tanah atau untuk tujuan pertanian.

Tindakan pencegahan dibutuhkan saat menggunakan air yang didaur ulang sebagai air *makeup* untuk menara pendingin karena sebagian air yang didaur ulang memiliki tingkat kesadahan air yang tinggi sebagai akibat dari proses daur ulang. Tingkat kesadahan air yang tinggi berimplikasi pada penimbunan kerak air di *chiller* secara lebih cepat dan peningkatan penggunaan energi. Perawatan tersier yang benar direkomendasikan saat menggunakan air yang didaur ulang sebagai air *makeup* untuk menara pendingin.

8.8.4 Memanen Air Hujan

Air hujan adalah salah satu sumber air terbersih di dunia, dan bersifat gratis. Adalah benar bahwa dalam 20 menit pertama, kualitas air hujan dipengaruhi oleh hubungan dengan partikel di udara seperti debu, belerang, dan partikel organik; dan saat air hujan mengalir, ia membawa partikel organik dan kotoran lainnya dari permukaan-permukaan seperti atap dan semen. Namun, dengan perawatan, air hujan dapat menjadi sumber air bersih dengan kandungan mineral yang jauh lebih sedikit daripada air sumur atau air kota pada umumnya.

Beberapa faktor perlu dipertimbangkan saat memanen air hujan:

- Lebih baik membuang air hujan dari 20 menit pertama untuk menghindari kandungan asam dalam hujan.
- Sebaiknya diadakan proses untuk mengontrol *fouling* biologis.
- Penyimpanan air hujan sebaiknya dikalkulasi berdasarkan jumlah yang direncanakan akan dipakai dan sangat bergantung pada ketersediaan ruang.
- Peraturan lokal yang mencegah panen air hujan.

8.8.5 Sistem Distribusi

Sistem distribusi air dapat memiliki dampak terhadap efisiensi energi bangunan gedung secara keseluruhan. Sebagian besar sistem air yang didinginkan/dipanaskan telah terisolasi untuk mencegah kehilangan energi saat distribusi. Dampak dari isolasi yang tidak tepat pada saluran air panas atau dingin adalah peningkatan

penggunaan energi untuk menghasilkan air pada suhu tertentu. Sebagian besar riser air dingin dalam bangunan gedung berukuran sedang hingga besar perlu diperiksa secara teratur dan diisolasi ulang apabila terdapat kerusakan pada isolasi.

8.8.6 Langkah-langkah Tanpa Biaya, Biaya Rendah, dan Biaya Tinggi untuk Bangunan Gedung yang telah ada

Langkah-langkah Tanpa Biaya

- Pemeriksaan reguler terhadap penggunaan energi dari *chiller* dan boiler.
- Catatlah suhu pendekatan *approach chiller*.
- Pastikan program perawatan air berjalan (pemberian bahan kimia, *blow-down*, dll.).
- Periksa menara pendingin secara teratur.
- Periksa elemen penukar kalor setiap tahun (pipa pendingin untuk *chiller*).

Langkah-langkah Biaya Rendah

- Pasang program perawatan air yang baik, yang mencakup pengawasan parameter air dan parameter biologis per minggu.
- Periksa keberadaan bakteri *legionella* secara teratur.

Langkah-langkah Biaya Tinggi

- Pasang sistem air sebelum perawatan untuk menyediakan air untuk boiler dan *chiller*.

8.9 Sistem Manajemen Energi Bangunan Gedung

8.9.1 Ragam SMEBG dan SMBG, dan Tingkat Pengawasan dan Pengaturan

Bangunan gedung modern bergantung pada beragam system, yang bergantung pada energi untuk menyediakan jasa-jasa seperti pendinginan ruangan, ventilasi, pencahayaan, hiburan, transportasi, dan keamanan. Sistem Manajemen Bangunan Gedung (SMBG) merupakan bentuk pengaturan terpusat yang dapat diprogramkan untuk mengatur sistem secara elektronik, dengan demikian mengoptimalkan penggunaannya untuk memenuhi kebutuhan penghuni bangunan gedung dengan konsumsi energi yang minimum tanpa menghilangkan faktor ketidakefisienan yang dipengaruhi oleh manusia. Selain itu, SMBG dapat membantu dengan

Air hujan adalah salah satu sumber air terbersih di dunia, dan bersifat gratis. Adalah benar bahwa dalam 20 menit pertama, kualitas air hujan dipengaruhi oleh hubungan dengan partikel di udara seperti debu, belerang, dan partikel organik; dan saat air hujan mengalir, ia membawa partikel organik dan kotoran lainnya dari permukaan-permukaan seperti atap dan semen.

strategi operasional dan pemeliharaan bangunan gedung dengan cara memasukkan data konsumsi energi yang spesifik ke setiap peralatan, seperti periode operasional dan gambaran energi. Apabila diprogram dan diawasi dengan baik, hal ini umumnya efektif untuk mengurangi konsumsi energi. Namun demikian, saat rusak, salah program, atau diawasi dengan tidak baik, hasil yang timbul dapat berupa kualitas lingkungan dalam ruangan yang buruk, kehilangan produktivitas dan biaya penggunaan yang lebih tinggi.

Sistem Manajemen Bangunan Gedung dapat meliputi integrasi sistem-sistem berikut ini:

- Sistem pembangkit energi
- Sistem pendingin ruangan (pengatur panas/dingin, pengatur ventilasi, pompa, AHU, dan sebagainya)
- Pengaturan pencahayaan dari area umum
- Pengukuran konsumsi air, listrik, energi pendinginan (pemanasan) dan gas
- Sistem kontrol akses untuk area umum
- Sistem alarm terhadap penyelundup untuk area umum
- Sistem pengawasan video untuk area umum
- Sistem alarm kebakaran
- Sistem baterai pusat
- Sistem lift dan eskalator

SMBG dapat menyediakan layanan seperti:

- Alarm
- Tren Historis
- Catatan dan Laporan
- Profil Penggunaan dan Peran Manajemen

8.9.2 Apa yang dapat dilakukan oleh SMEBG?

- Mematikan dan menyalakan plant secara otomatis. (contohnya berdasarkan waktu, jenis hari atau kondisi lingkungan). Contohnya, SMEBG dapat mengatur pencahayaan untuk menghindari konsumsi yang tidak dibutuhkan di luar jam kerja normal atau saat tingkat cahaya alami ambien sudah mencukupi.
- Optimalisasi operasi dan jasa plant. Contoh aplikasi umum adalah rutin mulai/stop yang optimum untuk pemanasan ruangan, di mana waktu mulai dan stop akan secara otomatis disesuaikan oleh sistem untuk mengkompensasi perubahan suhu eksternal dan kelembaman termal dari bangunan gedung. Contoh lainnya termasuk

pengaturan rasio bahan bakar/udara pada boiler dan untuk memaksimalkan pendinginan gratis dalam bangunan gedung dengan AC.

- Pengawasan status plant dan kondisi lingkungan. Manajer gedung dapat diinformasikan apabila terdapat kondisi serius yang mengharuskan pengambilan tindakan perbaikan. Sistem manajemen energi dapat meningkatkan standar operasi dan pemeliharaan.
- Penyediaan informasi manajemen energi. Data aliran, konsumsi, tren, dan performansi energi gedung secara keseluruhan dapat diakses dengan mudah. Manajer dapat membuat penilaian cepat terhadap langkah-langkah peningkatan efisiensi energi dan juga menggunakan informasi tersebut untuk perencanaan dan pembiayaan di masa depan.
- Pengawasan dan kemampuan kontrol jarak jauh untuk plant dan jasa. Dalam bangunan gedung atau tempat yang besar, SMEBG menghasilkan penggunaan tenaga manusia yang lebih efektif. Ini semakin penting saat plant dan jasa ditangani melalui jaringan telepon, memungkinkan bangunan gedung yang terletak jauh secara geografis untuk tetap dimonitor dan dikontrol.
- Pengawasan jarak jauh oleh jasa biro. Dengan penggunaan jaringan telepon, pengawasan bangunan gedung dapat dilakukan dari jarak jauh dengan oleh perusahaan manajemen energi yang independen sebagai jasa terhadap pemilik gedung atau operator gedung.
- Manajemen bangunan gedung atau tempat. MEBG dapat diperluas untuk menggabungkan fitur-fitur seperti pengawasan kebakaran dan keamanan dengan indikasi alarm jarak jauh.
- Pemeliharaan Pencegahan Terencana.
- Banyak MEBG yang dapat dilengkapi dengan program untuk mengelola pemeliharaan rutin dari plant di dalam bangunan gedung, tanpa mempertimbangkan apakah plant dikontrol oleh MEBG atau tidak. Ini akan mengurangi biaya tenaga kerja, meningkatkan reliabilitas dan mengurangi biaya energi.

Membangun sistem kontrol yang terdiri dari tiga komponen dasar:

- Sensor, untuk mengukur variabel terkontrol (contohnya suhu), dan

mengirimkan sinyal pada alat kontrol yang mendefinisikan nilai variabel tersebut;

- Alat kontrol, yang membandingkan nilai dari variabel terkontrol hingga titik yang telah ditetapkan dan mengirimkan sinyal ke alat kontrol yang akan merespon perubahan tersebut; dan
- Peralatan kontrol, seperti katup, damper, atau rangkaian motor yang akan bereaksi terhadap sinyal dari alat kontrol untuk menyesuaikan variabel terkontrol dan mengimplementasikannya sesuai dengan titik yang ditentukan.

Media yang terkontrol adalah media yang dimanipulasi oleh peralatan kontrol. Contoh media yang terkontrol adalah aliran udara, aliran air, atau aliran listrik pada resistor pemanas. Contoh variabel terkontrol adalah suhu, kelembaban, dan tekanan.

Performa dari sistem kontrol didefinisikan dalam hal:

- Stabilitas sistem, yaitu tingkat kemampuan sistem untuk menghindari osilasi dalam variabel terkontrol (atau "hunting").
- Gelombang proporsional, yaitu ukuran ketelitian kontrol.
- Respons sistem, yaitu kecepatan sistem dalam memperbaiki perubahan dalam variabel terkontrol.

Pada batas minimum, bangunan gedung seharusnya menggunakan pengukuran sederhana untuk mengawasi penggunaan energinya, namun bangunan gedung berukuran besar sebaiknya menggunakan sistem SMEBG penuh yang sangat potensial dalam menghemat energi, mengurangi biaya operasional dan mengurangi jumlah staf operasional.

8.9.3 Meteran Sederhana

Dengan pengukuran sederhana untuk penggunaan listrik, gas, dan air, dimungkinkan dapat melihat performa bangunan gedung dalam periode waktu lama dan mengambil tindakan berdasarkan data dan tren yang telah terkumpul di database. Karakteristik meteran yang terbaik adalah bersifat spesifik, contohnya, apabila memiliki lebih dari satu peralatan yang mengkonsumsi energi, lebih baik untuk memiliki meteran untuk setiap peralatan. Tentunya harus membandingkan biaya dan keuntungan potensial

dari mengukur setiap peralatan.

8.9.4 Sistem SMEBG Total

Semua bangunan gedung memiliki suatu bentuk jasa mesin/mekanikal dan elektrik untuk menyediakan fasilitas yang dibutuhkan guna memelihara lingkungan kerja yang nyaman. Jasa ini harus dikendalikan melalui cara-cara tertentu untuk menjamin, contohnya, adanya air panas yang cukup untuk bak, bahwa air panas dalam radiator cukup untuk menjaga kehangatan ruang yang dihuni, bahwa pendinginan dengan ventilasi dan pemanasan disediakan untuk menjamin kondisi nyaman, tanpa memperhatikan jumlah penghuni atau preferensi individu.

Alat kontrol sederhana dapat mengambil bentuk saklar manual, jam waktu atau saklar suhu yang dapat menyediakan sinyal nyala dan mati untuk mengaktifkan pompa, fan, atau katup. *Input* SMEBG, seperti sensor suhu dan *output* seperti sinyal nyala/mati terhubung dengan stasiun-stasiun luar yang terletak di sekeliling bangunan gedung. Tingkat kontrol melalui SMEBG bergantung pada informasi yang diterima dari sensornya, dan respons yang dihasilkan oleh program setelah mendapatkan informasi tersebut. Selain menawarkan tingkat kontrol lingkungan yang seksama, sistem SMEBG juga dapat mengaktifkan alarm pada kondisi yang tidak memenuhi spesifikasi atau memberitahukan adanya bahaya dari barang-barang individu yang gagal dalam plant.

Waktu okupansi gedung untuk beberapa jenis area diprogram ke dalam Sistem Manajemen Energi Bangunan Gedung sehingga plant teraktivasi untuk memenuhi kebutuhan pengguna. Waktu ini seringkali di bawah kontrol permulaan optimum. Ini berarti plant pendinginan akan diaktifkan pada waktu yang telah ditentukan sebelumnya untuk memastikan ruang yang didinginkan telah memiliki suhu yang diinginkan pada awal hari. Dengan demikian Sistem Manajemen Energi Bangunan Gedung, berdasarkan suhu udara luar, suhu ruang, dan struktur bangunan gedung menentukan waktu permulaan plant.

Sebuah sistem SMEBG total mencakup pengawasan dan pengendalian sistem daya, sistem pendingin ruangan, pencahayaan, sistem kontrol akses, sistem alarm terhadap penyusup, sistem CCTV, alarm kebakaran, sistem cadangan dan juga mencakup pengawasan dan pendataan penggunaan air, gas dan listrik. Sebuah SMEBG total dapat menghasilkan laporan tren konsumsi energi secara historis dan laporan operasional lainnya.

bangunan gedung berukuran besar sebaiknya menggunakan sistem SMEBG penuh yang sangat potensial dalam menghemat energi, mengurangi biaya operasional dan mengurangi jumlah staf operasional.

Kegiatan audit energi diperlukan untuk menjamin keberlanjutan efisiensi energi dalam gedung sepanjang umur gedung tersebut. Audit energi dapat juga mengidentifikasi penghematan-penghematan potensial untuk energi dan air.

Penghematan energi hingga 25% dapat dihasilkan dibandingkan dengan pengontrolan mandiri terhadap jasa individu. Keuntungan lain meliputi peningkatan adaptabilitas dan kenyamanan penghuni, dan perlindungan bahan bangunan gedung yang lebih baik. Tingkat penghematan dan keuntungan utamanya bergantung pada tingkat instalasi sistem kontrol. Sistem integrasi total dapat mengontrol sistem manajemen energi, keamanan, pencegahan bencana, sistem telekomunikasi dan otomasi kantor dari satu unit yang terpusat akan memiliki biaya yang lebih mahal sebesar 50% namun dapat menghasilkan tingkat penghematan yang lebih tinggi.

8.9.5 Kesulitan Umum dari SMEBG

Banyak bangunan gedung yang lebih baru di Indonesia sudah menggunakan SMEBG, namun terdapat beberapa kesulitan umum.

SMEBG tidak pernah diawasi/dikalibrasi

Untuk mencapai bangunan gedung yang sangat efisien, *commissioning*/pengawasan yang tepat akan membutuhkan waktu, terutama apabila peralatan *plant* pendinginan seperti *chiller*, AHU, dan SME datang dari berbagai produsen berbeda. Kondisi dapat dipersulit lagi apabila ada campuran komponen seperti AHU yang berasal dari produsen berbeda dengan FCU.

SMEBG yang tidak dikalibrasi akan berakibat pada alat kontrol yang tidak digunakan, yang menghilangkan tujuan dari investasi dalam SMEBG, sensor dan alat kontrol seperti VSD dan VAV.

Dalam beberapa kasus, SMEBG yang tidak dikalibrasi dapat mengganggu penghuni dan dapat mengakibatkan pemeliharaan ekstra.

Tidak ada Pemeliharaan pada Sistem SMEBG

Seringkali kerak air atau *fouling* lainnya pada sensor suhu akan mengakibatkan sensor mengukur suhu yang berbeda, sehingga membuat seluruh operasi bangunan gedung tidak efisien.

Secara umum, staf operasional tidak akan menggunakan alat kontrol SMEBG apabila tidak dikalibrasikan secara tepat, atau apabila staf belum cukup terlatih. Apabila VSD dan VAV tidak digunakan maka investasi dalam peralatan-peralatan mahal tersebut akan menjadi tidak

berguna. Mirip dengan itu, tidak menggunakan alat kontrol pada katup yang termotorisasi akan membuat plant pendinginan berjalan kurang optimal.

Kurangnya sensor atau titik kontrol

Terdapat beberapa kasus dimana sensor atau kontrol tidak terpasang di posisi seharusnya.

8.9.6 Perencanaan untuk Monitoring dan Audit Energi

Untuk dapat membuat bangunan gedung hemat energi dan menjaganya tetap efisien, diperlukan rencana monitoring energi dan audit energi. Dengan sistem SMEBG total, monitoring energi dapat dilakukan setiap hari dan titik penetapan (*set point*) dapat ditentukan untuk menyiagakan operator apabila konsumsi energi melebihi batas. Kegiatan audit energi diperlukan untuk menjamin keberlanjutan efisiensi energi dalam gedung sepanjang umur gedung tersebut. Audit energi dapat juga mengidentifikasi penghematan-penghematan potensial untuk energi dan air.

Monitoring dan Audit reguler terhadap sensor dan alat kontrol SMB juga penting, karena perilaku kontrol atau sensor yang tidak tepat dapat mengakibatkan SMB berfungsi secara abnormal dan berpotensi mengakibatkan ketidaknyamanan dan penggunaan energi yang tinggi.

Dengan memasang meteran pemantauan beban pendinginan (dengan cara memasang meteran aliran, dua sensor suhu dan satu power transducer) untuk *chiller*, staf operasional dan pemeliharaan dapat memperoleh informasi berguna mengenai tren penggunaan energi untuk *chiller* (kW/TR) dan memberikan sinyal saat *chiller* membutuh pemeliharaan atau kalibrasi ulang.



9. Menuju Bangunan Gedung Energi Netto Nol

9.1 Sumber Energi Terbarukan (Informasi)

9.1.1 Sistem Tenaga Matahari

Matahari merupakan sumber energi gratis yang dapat dipanen melalui berbagai cara, seperti sel *Photovoltaic* (PV) yang mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik; kolektor termal matahari untuk mengkonversi energi menjadi panas, yang umumnya digunakan dalam pemanas air; dan proses-proses tanam-tanaman dan tumbuhan yang dapat menyimpan energi matahari di bahan kimia.

Untuk membangkitkan daya, sistem PV sebaiknya digunakan dan meskipun energi matahari gratis, karena biaya *capex* yang tinggi, sistem PV memiliki tingkat pengembalian yang panjang apabila hanya dibandingkan pada biaya jaringan listrik. Sistem PV memiliki efisiensi yang beragam saat mengkonversi energi, dari 5% hingga 20%. Beberapa sistem PV dapat diintegrasikan sebagai komponen dari penampilan bangunan gedung; misalnya sebagai bagian dari struktur atap, lapisan bangunan sebagai lapisan solar. Penting untuk dipahami bahwa panas memiliki efek terhadap efisiensi sistem PV. Semakin tinggi suhu dari papan pengumpulan energi matahari maka semakin rendah efisiensinya dalam mengkonversi tenaga matahari menjadi listrik.

9.1.2 Sistem Tenaga Angin

Tenaga angin telah dipanen sejak abad ke-12 dalam bentuk kincir angin, namun dengan adanya kemajuan teknologi dan penurunan harga energi minyak, pengembangan tenaga angin telah diabaikan hingga baru-baru ini mulai dikembangkan lagi. Turbin angin mengkonversi energi angin menjadi energi listrik dengan tingkat efisiensi yang beragam, dari 20% hingga lebih dari 40% dalam beberapa kasus. Terdapat 2 jenis turbin angin, Turbin Angin Berporos Horizontal yang tampak mirip dengan kincir angin tradisional dan digunakan secara ekstensif dalam negara maju untuk pembangkitan energi komersil; dan Turbin Angin Berporos Vertikal, yang kini menjadi pilihan turbin angin untuk wilayah dengan angin besar dan bergolak.

Untuk pengaplikasian kincir angin yang hemat, dibutuhkan kecepatan angin minimal secepat 5m/s. Oleh karena itu, sistem tenaga angin hanya direkomendasikan dalam wilayah yang berangin. Di Indonesia, sebagian besar wilayah memiliki kecepatan angin rata-rata yang rendah, sehingga tenaga angin bukan merupakan pilihan sumber energi terbaik. Namun, dapat meningkatkan kecepatan angin dengan memasang turbin setelah menciptakan efek terowongan (melalui pemetaan dan lansekap angin yang tepat) atau melalui pemasangan turbin di atas lantai ke-30 dimana turbin akan menerima angin secara lebih konstan.

Teknologi	Tingkat Efisiensi	Daya Tahan	Biaya	Termal
Mono-crystalline	12 - 19%	Tinggi	Tinggi	Paling tidak efisien pada suhu tinggi
Polycrystalline	10-19%	Tertinggi	Sedang	Lebih efisien pada suhu tinggi
Thin-film	6 - 12%	Terendah	Rendah	Paling efisien pada suhu tinggi

Tabel 16. Teknologi Panel Matahari

9.1.3 Sistem Tenaga Air

Sistem tenaga air mengkonversi energi yang terdapat dalam air yang mengalir menjadi energi listrik. Kapasitas produksi energi listrik bergantung pada aliran air, dimana kecepatan air yang lebih tinggi seperti dalam air terjun dan volume aliran yang lebih tinggi seperti dalam sungai besar akan menghasilkan energi lebih banyak. Tenaga air mikro dapat digunakan untuk memproduksi listrik hingga 100 kW dari aliran alami atau sungai.

9.1.4 Sistem Geotermal

Energi geotermal adalah energi termal yang dihasilkan dan disimpan dalam bumi. Untuk mengekstraksi panasnya, air disuntik ke dalam bumi untuk membawa panas keluar, yang berakibat pada suhu air yang lebih panas. Terdapat banyak sistem geotermal yang dapat digunakan untuk mengekstraksi dan mengkonversi energi geotermal, tergantung pada suhu yang ada. Pembangkit tenaga Uap Kering dan Uap Flash dapat digunakan untuk suhu minimal 180°C sementara untuk suhu yang lebih rendah, pembangkit tenaga Siklus Biner dapat digunakan, walaupun efisiensinya lebih rendah.

9.1.5 Sistem Biomassa

Definisi biomassa adalah bahan-bahan yang terdiri dari organisme hidup atau organisme yang baru mati seperti sisa-sisa kayu dan jerami, kotoran hewan, kulit ari beras, dan pembuangan kota yang berbentuk padat. Biomassa dapat digunakan langsung untuk menghasilkan energi listrik atau termal, maupun untuk mengkonversi gas nabati dan bahan bakar nabati.

Penggunaan biomassa langsung untuk memproduksi energi listrik dilakukan melalui turbin uap dan pengubah menjadi gas. Biomassa dengan isi kelembaban yang tinggi harus dirawat terlebih dahulu sebelum digunakan untuk

pembangkitan energi langsung atau melalui penggunaan proses yang bernama *Combined Heat and Power* (Kombinasi Panas dan Daya).

9.1.6 Sistem Gas Nabati

Sumber gas nabati adalah bahan organik yang memiliki kelembaban tinggi seperti kotoran hewan dan sampah makanan. Bahan-bahan organik kemudian dapat dicerna secara anaerobik oleh bakteri dan mikroorganisme lainnya untuk menghasilkan gas nabati. Gas nabati utamanya terdiri dari metana dan karbon dioksida; keduanya merupakan gas rumah kaca yang kuat. Melalui pemrosesan, gas nabati dapat dibersihkan dan digunakan untuk mengganti gas alami sebagai sumber energi.

Gas nabati dapat dikumpulkan melalui pemboran sumur gas di tempat pembuangan akhir, atau bahkan menggunakan pencernaan anaerobik yang dapat menghasilkan jumlah metana yang tinggi.

9.2 Sumber Energi Alternatif

Bagian ini akan mendeskripsikan sumber energi alternatif yang tersedia yang digunakan dalam bangunan gedung, dengan menekankan pada fitur positif dan negatifnya. Penggunaan sumber energi alternatif tidak selalu membuat penggunaan energi dalam bangunan gedung lebih efisien.

9.2.1 Sistem Berdasarkan Gas / Bahan Bakar

Untuk bangunan gedung komersil, sistem Daya cadangan dibutuhkan untuk alasan efisiensi, keselamatan, dan kenyamanan. Sistem yang memiliki dasar gas/bahan bakar seringkali digunakan sebagai cadangan karena sistem tersebut dapat menghasilkan tenaga kapanpun karena bahan bakarnya selalu tersedia. Namun, dalam beberapa kasus dimana memungkinkan secara ekonomis, jenis sistem yang berdasarkan

Untuk bangunan gedung komersil, sistem tenaga cadangan dibutuhkan untuk alasan efisiensi, keselamatan, dan kenyamanan.

gas/bahan bakar ini justru menjadi sumber tenaga utama untuk bangunan gedung. Terdapat beberapa jenis sistem yang berdasarkan gas/bahan bakar: pembangkit diesel, pembangkit bensin, pembangkit gas alami dan pembangkit LPG (*Liquid Petroleum Gas*).

Pertimbangan utama saat memilih pembangkit adalah harga bahan bakar dan ketersediaan bahan bakar. Meskipun pembangkit gas alami dan LPG memiliki proses pembakaran yang lebih bersih daripada diesel dan bensin, harus dicatat bahwa gas alami dan LPG tidak memiliki bau dan bersifat lebih berat daripada udara, sehingga membuat kebocoran lebih susah untuk dideteksi dan berpotensi menimbulkan bahaya.

9.2.2 Sistem Pembangkitan Energi Kembali (*Energy Recovery*)

Terdapat banyak sistem pembangkitan energi kembali dalam pasar dan setiap penggunaannya harus dievaluasi berdasarkan kebutuhan bangunan gedung. Sistem regenerasi dalam lift; roda panas dan entalpi; dan sistem pendapatan kembali panas yang terbuang adalah beberapa contoh sistem pembangkitan energi kembali.

Roda Panas dan Entalpi

Roda Panas dan Entalpi adalah bundaran penukar panas dari udara ke udara yang dapat mengekstraksi panas/dingin dari suatu aliran udara dan memindahkannya ke aliran udara lain. Persediaan dan pembuangan aliran udara berlawanan yang bersebelahan mengalir ke dalam setengah bagian dari roda ini. Roda panas memiliki isian yang dapat memindahkan jumlah panas yang pantas sementara isian roda entalpi akan memindahkan panas total. Keuntungan utama dari penggunaan unit-unit ini adalah kemampuannya untuk mengurangi ukuran dan biaya operasional yang dibutuhkan dalam sistem HVAC. Penghematan potensial mencapai 3-4% dari energi yang dibutuhkan oleh sistem HVAC yang berdiri sendiri.

Sistem Pemanfaatan Kembali Panas yang Terbuang (*Waste Heat Recovery*)

Sistem pemanfaatan kembali panas yang terbuang menangkap panas yang terbuang dari satu proses yang selanjutnya dapat digunakan untuk menyediakan panas untuk proses lain. Apabila panas yang terbuang berada pada suhu lebih rendah dari yang dibutuhkan, maka sistem dapat digunakan bersamaan dengan teknologi lain seperti pompa panas atau pemanasan

air dengan tenaga matahari, untuk mencapai suhu yang dibutuhkan. Keuntungan utama dari penggunaan sistem pemanfaatan kembali panas yang terbuang adalah kemampuannya untuk menghasilkan air panas dari panas yang terbuang, dengan demikian menghemat tagihan listrik. Contohnya adalah panas yang terbuang dari *chiller* yang didinginkan oleh udara.



10. Proses Procurement dan Konstruksi

10.1 Perolehan

Memiliki data yang jelas untuk pengurangan emisi CO₂ potensial dan biaya siklus-hidup dari teknologi atau solusi hemat energi baru dan inovatif sangat penting dalam pembuatan keputusan perolehan dan dalam *balancing costs* dengan performansi lingkungan yang lebih baik.

Biaya Procurement hanya merupakan sebagian dari biaya yang harus dibayar pemilik untuk mendapatkan produk tertentu. Pemeliharaan, operasi dan pembuangan justru dapat menghabiskan biaya lebih tinggi dari yang diperkirakan. Oleh karena itu, untuk mendukung pemilik, konsultan, dan kontraktor dalam membuat keputusan pembelian yang lebih baik dan lebih efisien, sebaiknya menggunakan alat-alat untuk mengevaluasi biaya siklus-hidup dan emisi CO₂.

Dalam implementasi pembangunan gedung, metode perolehan adalah proses memperoleh produk pembangunan atau gedung yang disesuaikan dengan kebutuhan pelaksanaan tugas kontraktor, dengan bantuan konsultan yang menggunakan sistem manajemen proyek tertentu yang telah disetujui oleh seluruh pihak (Pemilik, Konsultan, dan Kontraktor).

Banyak metode perolehan yang tersedia sebagai cara mengelola perolehan produk gedung atau produk pembangunan lainnya, yang dapat digunakan sesuai dengan sifat proyek dan persyaratan pemilik.

Pemilihan metode perolehan yang tepat akan menghasilkan produk pembangunan yang memenuhi kebutuhan. Pemilihan metode perolehan sebaiknya dilakukan secara hati-hati untuk menghindari dibatalkannya pekerjaan di tengah-tengah proyek. Apabila infrastruktur yang ada tidak memungkinkan metode perolehan tertentu, maka lebih baik tidak dipaksakan, karena setiap proyek memiliki karakter sendiri saat diimplementasikan.

Keputusan dalam menggunakan sistem procurement yang mana sebaiknya dilakukan sedini mungkin dan didukung oleh kasus bisnis klien untuk proyek tersebut. Risiko yang terasosiasi dengan setiap sistem perolehan dan bagaimana risiko tersebut berdampak pada klien seharusnya juga dipertimbangkan. Dengan pertimbangan ini, Tabel 17 menyediakan peninjauan umum 'risiko spekulatif' (yaitu risiko yang dibagi terlebih dahulu oleh pihak-pihak

SPECULATIVE RISK Contract Type	RISK	
	EMPLOYER	CONTRACTOR
DESIGN & BUILD Complete 'Package' by supplier		██████████
DESIGN & BUILD Design Input by Employer	██████████	██████████
TRADITIONAL - LUMP SUM Fixed Price		██████████
TRADITIONAL - LUMP SUM Fluctuations	██████████	██████████
TRADITIONAL - MEASUREMENT Bill of Approximate Quantities	██████████	██████████
TRADITIONAL - MEASUREMENT Fixed Free Prime Cost	██████████	██████████
TRADITIONAL - MEASUREMENT Percentage Fee Prime Cost	██████████	██████████
MANAGEMENT CONTRACT	██████████	██████████

(CRC Construction Innovation -Building Procurement Methods)

Tabel 17. Pembagian Risiko Antara Klien dan Kontraktor

dalam kontrak) terhadap klien dan kontraktor untuk metode procurement tertentu.

10.1.1 Sistem Procurement Proyek Pembangunan

Mendorong inovasi dalam proses procurement pada dasarnya berarti berupaya mencari solusi terbaik untuk memenuhi kebutuhan pemilik – dalam hal performansi dan biaya. Dari sudut pandang pemilik gedung, mendorong solusi inovatif yang memenuhi prinsip efisiensi energi dalam *procurement* dapat berarti:

- Menggunakan sumber daya dengan lebih efisien untuk mendapatkan solusi terbaik, dan
- Membantu pencapaian target lokal/nasional – dalam pengurangan emisi CO₂ dan untuk efisiensi energi.

Sistem perolehan proyek dapat dikalsifikasikan ke beberapa kategori berdasarkan hubungan antara interaksi kritis antara tanggung jawab pembangunan dan desain. Kategorisasi berbagai sistem *procurement* dapat dilihat pada Gambar 43.

10.1.2 Spesifikasi

Siapkan spesifikasi dalam hal performansi dan fungsi dengan tetap memastikan bahwa spesifikasi tersebut cukup seksama untuk dipahami dengan cara yang sama oleh semua partisipan dalam prosedur penawaran. Oleh karena itu, persyaratan teknis untuk kriteria berdasarkan performa harus sejelas mungkin, seperti dampak terhadap lingkungan, antara lain: emisi polutan, dampak suara, dan kesempatan menghemat energi, dll.

Tujuan dari spesifikasi adalah untuk menyediakan informasi tentang kebutuhan produk bangunan gedung. Sebgain besar persyaratan berhubungan dengan kuitas. Umumnya terdapat dua metode berbeda dalam penjaminan kualitas:

Spesifikasi Performa

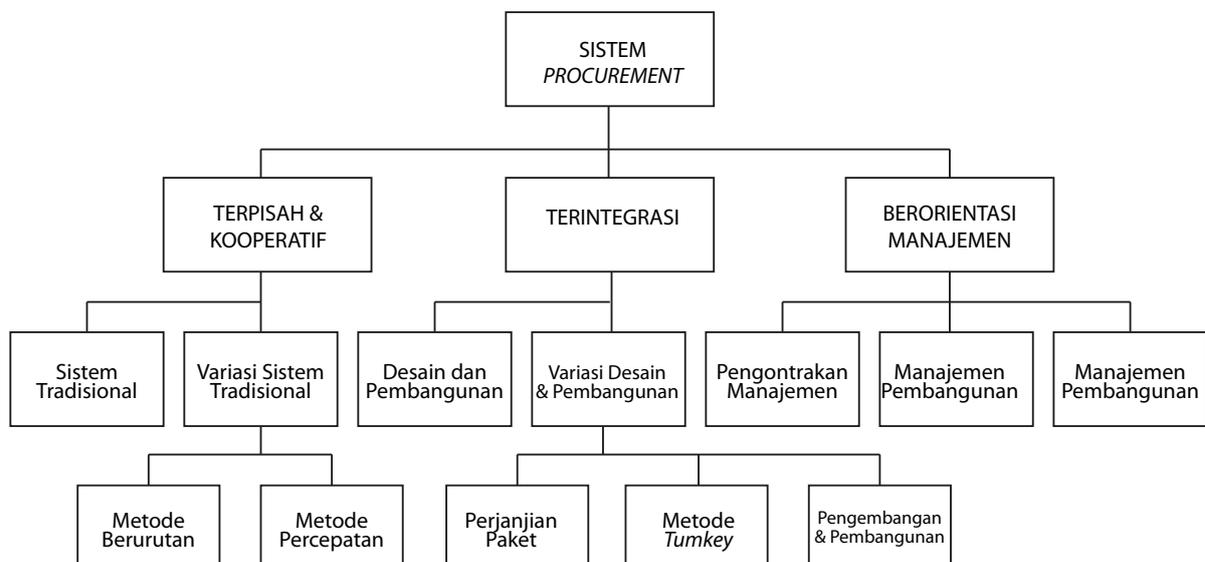
Spesifikasi performa membutuhkan tes untuk menentukan apakah produk tersebut sudah memenuhi kualitas yang memuaskan. Ini tidak berkaitan dengan teknologi yang digunakan untuk membuat produk tersebut. Pilihan teknologi produksi diserahkan pada kontraktor. Seringkali kontraktor diwajibkan untuk menguji kualitas dari pekerjaan dan produk, dan sebaiknya menyimpan hasil tes untuk periode tertentu untuk digunakan dalam evaluasi oleh klien atau perwakilan klien.

Spesifikasi Deskriptif

Spesifikasi deskriptif mendeskripsikan teknologi yang akan digunakan. Dokumen kontrak dan terutama spesifikasi merupakan alat manajemen. Apabila klien atau perwakilan klien memperkirakan bahwa akan sulit untuk menemukan kontraktor yang kompeten, klien mungkin ingin menyediakan instruksi terperinci mengenai prosedur kerja untuk membantu menjaga kualitas.

Disarankan untuk memasukkan elemen-elemen berikut dalam spesifikasi atau *terms of reference*:

- Memformulasikan daftar kebutuhan-kebutuhan;
- Gambaran untuk Persetujuan;



Gambar 43. Sistem Pemerolehan Proyek

- Tinjauan dan verifikasi desain;
- Pengujian prototipe; dan
- Perbaikan Desain.

Tujuan dari tinjauan dan verifikasi desain dan pengujian prototipe adalah untuk memastikan bahwa produk tersebut telah memenuhi jadwal/daftar kebutuhan.

Peralatan dengan Label Energi

Program pelabelan energi adalah program sukarela yang mempromosikan manajemen energi komprehensif melalui identifikasi dan pelabelan produk yang memiliki performa yang ditingkatkan guna menghemat uang dan membantu melindungi lingkungan melalui penghematan energi.

Produk HVAC komersil ringan yang memiliki label energi didesain dengan performa yang ditingkatkan untuk membantu penghematan uang pada biaya keperluan dan menyediakan kenyamanan pendinginan dan pemanasan yang lebih efisien.

Dengan membeli peralatan HVAC komersil ringan yang memiliki label energi, pemilik gedung dan manager properti dapat mengurangi biaya operasional sekaligus menghemat uang penyewa dan berpotensi meningkatkan nilai penjualan kembali dari gedung.

Spesifikasi umum untuk HVAC komersil ringan dengan label energi adalah:

Direktorat Jenderal Energi baru Terbarukan dan Konservasi Energi (DJE/TKKE) mengeluarkan

AC Pusat

Unit Paket Tunggal atau Terbagi (65,000 sampai 250,000 Btu/h)
 <65,000 Btu/h harus ≥ 12 SEER (3 fase)
 $\geq 65,000$ sampai <135,000 Btu/h harus ≥ 11.0 EER dan 11.4 IPLV
 $\geq 135,000$ sampai $\leq 250,000$ Btu/h harus ≥ 10.8 EER dan 11.2 IPLV

Panduan Teknis untuk Deklarasi Konformitas untuk lampu dengan ballast pada 16 Desember 2011 dengan nomor 1287.K/06/DJE/2011. Panduan ini menyebutkan pemasangan label untuk mengidentifikasi produk yang memiliki efisiensi energi di Indonesia untuk paket lampu dengan ballast dan produk pencahayaan dengan *ballast*.

Pembungkusan lampu dengan ballast adalah label hemat energi wajib yang dipasang sesuai dengan SNI 04-6958-2003.

10.1.3 Dokumen Tender

Untuk menentukan prosedur pelaksanaan tender yang mana yang digunakan dan untuk mengembangkan berkas dokumen tender yang lengkap yang didasarkan pada spesifikasi performa atau fungsi, terutama untuk mendorong performa energi/CO₂ yang paling mungkin dalam biaya yang dapat diraih.

Sebuah dokumen tender adalah undangan tertulis yang dikirim ke pemasok barang dan jasa potensial untuk menginformasikannya mereka mengenai informasi yang dibutuhkan oleh pemilik. Mengeluarkan dokumen tender akan mengawali proses dimana bisnis memilih pemasok yang tertarik dan memiliki kualifikasi berdasarkan kriteria harga, ketersediaan, dan syarat-syarat pengiriman yang diajukan.

Proses buka tender dapat membantu pencapaian metode paling efektif untuk mengamankan harga kompetitif, teknologi baru dan pilihan.

Format dokumen tender umum seharusnya terdiri dari:

- Nama proyek
- Nama dan alamat dari perusahaan yang mengumumkan tender
- Nama pekerjaan, bahan-bahan atau jasa-jasa
- Lokasi tempat performa
- Estimasi kasar biaya kerja
- Periode penyelesaian
- Tanggal di saat penjualan dokumen tender berlangsung
- Tanggal dan waktu hingga saat dokumen tender dapat diperoleh
- Biaya dokumen tender
- Tanggal dan waktu saat tender dapat dimasukkan dan dibuka
- Spesifikasi teknis dan tagihan jumlah
- Persyaratan pekerja

Panduan untuk Mengisi Sistem Tender

- Kapasitas, pencapaian masa lalu dan status finansial dari yang ditender diinvestigasi secara menyeluruh sebelum pemberian kontrak. Aspek-aspek ini seharusnya dikomentari secara terperinci bersamaan dengan dokumen tender.
- Tarif seharusnya dicantumkan dalam angka dan kata tanpa ada perubahan.

Untuk mengambil keuntungan dari kemungkinan peningkatan dalam pajak dan kewajiban yang disebut dalam Undang-Undang, komponen pajak seperti kewajiban pajak, pajak pembelian, pajak kontrak kerja, dll. Sebaiknya diindikasikan secara jelas.

- Pelaku tender sebaiknya tidak mencantumkan terlalu banyak kondisi khusus karena sebagian kondisi tersebut mungkin akan memiliki implikasi finansial yang dapat ditambah ke biaya yang tercantum. Selain itu, ini menimbulkan kebingungan dan menciptakan ruang manipulasi.

Tarif yang dicantumkan untuk barang per barang sebaiknya realistis dan tidak non-konvensional atau tidak fisibel.

10.2 Proses Pembangunan

Saat fase pembangunan, tim pembangunan sebaiknya memberikan perhatian lebih besar pada prosedur gedung dan pemasangan yang dapat mempengaruhi efisiensi energi dan emisi CO₂ seperti jendela dan isolasi, sistem pendinginan dan ventilasi, sistem pencahayaan dalam ruangan dan luar ruangan, dan peralatan bangunan lainnya yang mengkonsumsi energi.

Untuk dapat memahami lebih baik bagaimana penelitian segregasi biaya dilaksanakan, memahami proses pembangunan akan sangat membantu. Pembahasan berikut menyediakan tinjauan umum dari proses ini, dari tahap konseptual hingga tahap *bidding*, pembangunan, pembayaran dan penyelesaian dari proyek. Meskipun mungkin terdapat fakta dan keadaan tertentu dalam tempat geografis spesifik yang akan berbeda dari yang dipresentasikan di bawah, konsep pembangunan dasarnya akan sama di semua tempat. Untuk pembahasan berikut, diasumsikan bahwa kontraktor eksternal, dan bukan pasukan tenaga kerja dalam-rumah, yang melaksanakan pembangunan.

TAHAP-TAHAP DALAM PROSES PEMBANGUNAN

Proses Pembangunan terdiri dari 6 tahap yang berbeda, yaitu:

- Konsep
- Kontrak dan Dokumen Penawaran
- Penawaran
- Pembangunan
- Pembayaran Pembangunan
- Penyelesaian

Setiap tahap ini dibahas secara detil di bawah.

10.2.1 Konsep

Semua proyek pembangunan berawal dengan perencanaan dan desain, yang disebut juga sebagai “pemrograman arsitektur”. Banyak tahap-tahap yang saling tumpang tindih terjadi dalam fase pembuatan konsep atau desain ini, sebelum pembangunan nyata dari proyeknya.

Arsitek adalah ahli desain utama dari bangunan gedung atau proyek, dan mengendalikan keseluruhan desain, spesifikasi, bahan yang diselesaikan (contohnya batu bata, cat, pelapis dinding, dll.), dan fitur arsitektur lain dari gedung. Sebagai tambahan, arsitek mengawasi ahli teknik yang bertanggung jawab pada desain struktur, mekanikal, elektrikal, pencahayaan dan pemipaan dari bangunan gedung. Ahli teknik wajib selalu mengikuti persyaratan desain yang ditentukan arsitek. Setiap anggota dari tim desain harus diijinkan oleh otoritas perijinan yang benar di daerah dimana fasilitas terletak.

Pemrograman Perencanaan & Arsitektur

Pada tahap-tahap awal proses desain, arsitek dan ahli teknik sebaiknya memiliki sejumlah rapat dengan klien untuk menentukan tujuan dan fungsi dari pembangunan yang akan dilakukan. Selain itu, terdapat peninjauan aktivitas primer yang ingin dimungkinkan oleh proyek yang tengah dibangun, sekaligus hubungan antar ruang. Pertimbangan juga diberikan pada bagaimana proyek yang sudah selesai akan berhubungan dengan gedung yang bersebelahan (apabila ada) dan sekelilingnya. Pemrograman persiapan menghasilkan daftar solusi, alternatif, studi kelayakan dan estimasi biaya. Setelah meninjau pernyataan pemrograman, rencana skematis disiapkan.

Rencana Skematis

Rencana skematis adalah rencana pertama dari fasilitas dan akan menunjukkan keterhubungan antara ruang dan aktivitas. Semua pihak (arsitek, ahli teknik, dan klien) meninjau rencana skematis dan membuat rekomendasi sebagaimana diperlukan. Perubahan apapun selanjutnya digabungkan ke dalam rencana skematis final. Rencana skematis final juga dikenal sebagai ‘rencana persiapan’, dan menyediakan gambaran grafis dari proyek, detail yang sudah diperhalus mengenai penampilan proyek, dan hubungan antara seluruh ruang.

Rencana skematis adalah rencana pertama dari fasilitas dan akan menunjukkan keterhubungan antara ruang dan aktivitas. Semua pihak (arsitek, ahli teknik, dan klien) meninjau rencana skematis

Setelah pemrograman persiapan telah selesai, proyek kemudian memasuki tahap yang meliputi persiapan dokumen penawaran kontrak dan gambar pembangunan yang sudah bekerja/aktif.

10.2.2 Dokumentasi Pembangunan

Guna mengumpulkan tawaran pembangunan, ahli bangun harus menyediakan penawar potensial gambar-gambar dan rencana struktur yang diajukan, sekaligus spesifikasi proyek, yang mana persyaratannya ditulis dalam kontrak.

Kontrak/Gambar Bekerja/Rencana

Dokumen-dokumen kontrak terdiri dari spesifikasi teknis, gambar yang bekerja/aktif dan metode pembangunan yang seharusnya dilaksanakan dalam fase pembangunan. Untuk memenuhi seluruh persyaratan ini, kontraktor sebaiknya menyediakan gambar toko. Untuk menjamin bahwa bangunan gedung akan memiliki performa sebaik desain yang diajukan, gambar toko, terutama instalasi mekanikal dan elektrikal sebaiknya diperiksa secara benar.

Semua proyek, baik yang melibatkan pembangunan baru atau perluasan struktur lama, membutuhkan persiapan dokumen kontrak. Gambar dan rencana bekerja untuk kontrak menyediakan representasi tergambar dari pekerjaan pembangunan, dan menspesifikasi atau menyusun keinginan ahli desain untuk fasilitas. Gambar-gambar ini mengilustrasikan, antara lain, tampilan, tataruang, peralatan dan fitur yang diinginkan dalam proyek. Gambar-gambar ini menunjukkan rencana/desain arsitek untuk penampilan bangunan gedung secara menyeluruh, seperti bahan penutup, denah lantai, ukuran, dan fungsi dari setiap area bangunan gedung. Ahli teknik kemudian akan mendesain sistem struktur, mekanikal, elektrikal, pemipaan dan komunikasi dari bangunan gedung.

Aristek juga akan mulai mengumpulkan data proyek untuk menghadapi masalah atau situasi yang diperkirakan dapat muncul saat proses pembangunan, seperti persyaratan zona lokal, infrastruktur lokal, lalu lintas, dampak populasi dan lingkungan, akustik, energi, pencahayaan, dan pertimpangan penampilan. Berbagai *ahli teknik konsultan* dapat dipergunakan untuk menyelesaikan masalah proyek yang spesifik.

Sejumlah rencana gambar tercakup dalam proyek pembangunan, termasuk rencana-rencana berikut:

Rencana Arsitektur

Rencana arsitektur mengindikasikan tataruang dari proyek, seperti denah lantai, elevasi, dan rincian pembangunan dan penyelesaian desain arsitektur. Rencana-rencana ini umumnya diberi angka rangkaian dengan awalan "A" untuk "*arsitektural*". "*Plan view*", jenis rencana arsitektur yang paling umum, adalah pemandangan ruang pada lantai spesifik dari sudut pandang atas. Rencana-rencana ini mengindikasikan struktur dan elevasi lantai dengan panjang, lebar dan tinggi yang berbeda. Rencana-rencana ini dapat menunjukkan catatan informasi pembangunan spesifik dan mungkin mengandung rincian untuk bagian spesifik pekerjaan.

Elevasi eksterior menunjukkan bagian eksterior bangunan gedung dan penyelesaian eksterior, dan mirip dengan foto eksterior. Penjadwalan arsitektur pada rencana mengindikasikan jenis pintu, jendela, setiap mesin, pemipaan, dan peletakan lampu di setiap ruangan.

Dalam menyiapkan rencana, arsitek menggunakan simbol grafis, sebagai pengganti kata, untuk mengindikasikan kondisi fasilitas yang beragam. Simbol-simbol ini mengindikasikan jenis bahan, ukuran, dan penyelesaian ruangan yang beragam. Simbol mungkin ditunjukkan langsung dalam rencana atau dalam legenda rencanan.

Ahli teknik sipil bertanggung jawab terhadap drainase yang tepat, sekaligus desain perbaikan tanah, seperti desain aspal, pinggir jalanan dan got, dinding yang menahan, dan urung-urung drainase. Rencana tempat yang disiapkan oleh ahli teknik sipil mengindikasikan nilai lahan yang sudah ada dan yang nilai yang diajukan, serta lokasi spesifik dari fasilitas dalam lahan.

Rencana Struktur

Rencana struktur dipersiapkan oleh ahli teknik struktur dan menunjukkan desain struktur dari bangunan gedung. Rencana-rencana ini menggabungkan perencanaan fondasi dengan pertimbangan hujan, salju, angin, gempa, dan fenomena alami lainnya. Ahli teknik struktur mendesain fasilitas baik untuk beban "hidup" dan "mati" dalam bangunan gedung. Beban hidup terdiri dari orang, mebel, dan benda-benda lain yang bukan merupakan bagian dari bangunan gedung, namun tidak didukung oleh gedung. Beban mati adalah berat bangunan gedung atau struktur itu sendiri.

Rencana Mekanikal

Rencana mekanikal dipersiapkan oleh ahli teknik mekanikal/mesin untuk menunjukkan desain sistem mekanikal yang beragam dalam bangunan gedung. Sistem-sistem ini harus didesain untuk menggabungkan peralatan pendingin ruangan, pemanasan dan ventilasi yang tepat, sekaligus pemipaan yang cukup, untuk memenuhi kebutuhan dari aktivitas yang sudah dirancang untuk bangunan gedung tersebut.

Seperti *ahli* teknik struktur, ahli teknik mekanikal harus mendesain sistem mekanikal bangunan gedung untuk memenuhi “beban” bangunan gedung. Contohnya, pekerjaan kantor akan menghasilkan beban panas tertentu, sementara memasak dalam dapur komersil akan menghasilkan beban panas yang jauh lebih banyak. Penggunaan energi dari pendingin ruangan, pemanas, pompa, dan peralatan gedung lainnya akan dimonitor oleh *ahli* teknik mekanikal dan akan dipertimbangkan saat menspesifikasikan peralatan gedung untuk sistem gedung yang terdesain secara efisien. Rencana mekanikal diberikan nomor dengan awalan “P” untuk “*plumbing*” (pemipaan) dan “H” untuk “heating, ventilasi, dan pendingin ruangan.”

Rencana Elektrik

Rencana elektrikal dipersiapkan oleh *ahli* teknik elektrikal, dan tunjukkan sistem distribusi elektrikal untuk distribusi tenaga yang efisien dalam bangunan gedung. Desain rencana mencakup distribusi tenaga listrik dari perusahaan dan distribusi ke peralatan dengan tenaga yang spesifik. Faktor desain teknik untuk keseluruhan “beban” listrik dari bangunan gedung harus dipertimbangkan (contohnya, ukuran dan pengaturan yang tepat untuk transformer, papan panel, circuit, kawat, kabel listrik, dan tenaga untuk beragam mesin, peralatan dan aktivitas dalam gedung). Ahli teknik elektrikal/elektro dapat juga menangani kebutuhan desain pencahayaan bangunan, serta area khusus seperti sistem pemantauan keamanan pusat, sistem kontrol terkomputerisasi, dan sistem pengelolaan asap dan kebakaran. Rencana elektrikal diberi nomor dengan awalan “E” untuk “elektrikal”.

10.2.3 Spesifikasi Kontrak

Spesifikasi kontrak terdiri dari kebutuhan teknis, kriteria bahan, daftar warna, pengaturan peralatan, dan prosedur pemasangan.

Bagian kedua dari tahap dokumen kontrak dan penawaran adalah persiapan spesifikasi proyek, atau yang juga dikenal dengan “specs.” Specs menginformasikan kontraktor bagaimana cara membangun proyek dan terdiri dari dokumen-dokumen kontrak; spesifikasi teknis dan kualitas bahan yang dipasang; dan kecakapan pekerja yang dibutuhkan untuk pemasangan bahan. Dengan jumlah informasi yang dibutuhkan tersebut, specs harus diatur secara koheren. Sistem pengaturan spesifikasi pembangunan yang diterima secara luas disebut Format Master CSI. Format CSI, yang dikembangkan oleh *Construction Specification Institute*, membutuhkan empat kategori informasi: persyaratan penawaran, formulir kontrak, syarat-syarat kontrak dan spesifikasi teknis.

Persyaratan penawaran

Persyaratan penawaran mendeskripsikan kondisi penawaran terhadap pemilik, dan mencakup Undangan untuk Menawar, Instruksi kepada Penawar, Informasi yang Tersedia untuk Penawar, Formulir Penawaran dan Lampirannya, serta Formulir Keamanan Penawaran. Jenis kontrak antara pemilik dan kontraktor akan mendikte bentuk syarat-syarat penawaran.

Formulir Kontrak

Formulir kontrak terbagi menjadi 3 bagian, termasuk Perjanjian, Surat Obligasi Pembayaran dan Performa, dan Sertifikat.

Syarat-syarat Kontrak

Syarat-syarat kontrak mencakup Syarat-syarat Umum dan Syarat-syarat Suplementer.

Spesifikasi Teknis

Specs teknis umumnya dipersiapkan untuk setiap proyek khusus dalam Format Master CSI dan mencakup ratusan, bahkan ribuan benda yang akan dipasang dalam proyek.

Format CSI terdiri dari 16 “Pembagian Kerja”, yaitu:

- Divisi 1 – Kebutuhan Umum
- Divisi 2 – Pekerjaan di Tempat
- Divisi 3 – Semen
- Divisi 4 – Batu
- Divisi 5 – Logam
- Divisi 6 – Kayu dan Plastik
- Divisi 7 – Termal dan Kelembaban
- Divisi 8 – Pintu dan Jendela

Spesifikasi kontrak terdiri dari kebutuhan teknis, kriteria bahan, daftar warna, pengaturan peralatan, dan prosedur pemasangan.

- Divisi 9 – Lapisan Akhir dan Penyelesaian
- Divisi 10 – Bidang Keahlian Khusus
- Divisi 11 – Peralatan
- Divisi 12 – Perlengkapan
- Divisi 13 – Pembangunan Spesial
- Divisi 14 – Sistem Penyampaian
- Divisi 15 – Mekanikal
- Divisi 16 – Elektrik
- Ketetapan Serbaaneka
- Penghentian dan Penundaan Kontrak

Setiap Divisi CSI terbagi lagi menjadi tiga bagian tambahan yaitu Umum, Produk, dan Eksekusi (Pemasangan).

- Bagian Umum menjelaskan jangkauan atau batasan pekerjaan untuk Divisi CSI tertentu dan membuat korelasi antara spesifikasi teknis dan syarat-syarat umum dan suplementer dari kontrak. Porsi administratif dari perdagangan apapun (contohnya gambar-gambar toko) akan ditemukan juga dalam bagian ini.
- Bagian Produk mendaftarkan semua bahan yang akan digunakan, berdasarkan nama dan nomor model, dan menjelaskan kualitas bahan serta dasar untuk substitusi apapun.
- Bagian Eksekusi menjelaskan metode pemasangan bahan, teknik yang digunakan, dan kualitas kecakapan kerja.

10.2.4 Dokumen AIA A201, Syarat-syarat umum Kontrak Pembangunan

Institusi Arsitek Amerika (AIA) merupakan organisasi profesional arsitek yang diakui secara nasional di Amerika Serikat. Selama beberapa tahun, AIA mengembangkan dokumen berjudul "Dokumen AIA A201 – Syarat-syarat Umum untuk Kontrak Pembangunan" (AIA *Document A201 - General Conditions of the Contract for Construction*). Dokumen A201 kini diterima secara universal dalam industri pembangunan dan menyediakan dasar legal dan deskripsi terhadap barang-barang kontrak berikut:

- Ketetapan Umum
- Pemilik
- Kontraktor
- Administrasi Kontrak
- Sub-kontraktor
- Pembangunan oleh Pemilik atau oleh Kontraktor Berbeda
- Perubahan dalam pekerjaan
- Waktu
- Pembayaran dan Penyelesaian
- Perlindungan Orang dan Properti
- Asuransi dan Surat Obligasi
- Pembukaan dan Perbaikan pekerjaan

Dokumen A201 menyediakan definisi legal terhadap elemen-elemen dalam proses pembangunan dan barang-barang yang disediakan oleh kontraktor. Dokumen A201 juga memperinci cara mempersiapkan penyerahan bahan, gambar toko, dan permintaan pembayaran sementara.

10.2.5 Penawaran (*Bidding*)

Tahap ketiga dari proses pembangunan adalah penawaran, atau *bidding*. Setelah pemilik menentukan fisibilitas proyek dan ketersediaan dana untuk pembangunan, pemilik dapat mengumpulkan penawaran atau proposal dari kontraktor umum dan/atau kontraktor khusus. Pemilik pada umumnya menggunakan publikasi perdagangan dan koran untuk mengundang kontraktor untuk memberi penawaran terhadap pekerjaan pembangunan. Salinan dari "Pengumuman untuk Kontraktor" akan ditampilkan dalam spesifikasi proyek, menyediakan kontraktor dengan prosedur penawaran.

Berikut adalah rangkaian peristiwa dalam mempersiapkan penawaran untuk kontrak:

- a. Kontraktor mendapatkan salinan dari rencana dan spesifikasi dari pemilik guna menyiapkan perkiraan formal dari biaya pembangunan atau penawaran pembangunan (personil pembangunan yang berpengalaman mempersiapkan penawaran).
- b. Kontraktor meninjau rencana kontrak dan spesifikasi untuk menentukan bagaimana cara membangun proyek dan mempertimbangkan keterbatasan dan kondisi yang dibutuhkan pemilik untuk proyek.
- c. Kontraktor mengumpulkan penawaran dari subkontraktor, memperkirakan biaya tenaga kerja dan bahan langsung, dan mengevaluasi potensi keuntungan yang paling mewah dari kontrak. Jumlah penawaran menutup biaya yang diperkirakan dan persentase keuntungan.
- d. Pemilik mengevaluasi seluruh penawaran yang diterima dan memberikan penghargaan kontrak.
- e. Dokumen dan specs kontrak mengandung tanggal permulaan dan penyelesaian proyek, prosedur penagihan progres, persyaratan asuransi, dan informasi lainnya yang berhubungan.

Persiapan penawaran adalah langkah pertama dalam sistem kontrol biaya dari proyek

pembangunan. Harga penawaran yang disepakati kemudian menjadi anggaran tolok ukur untuk pengeluaran riil. Objektif dari sistem kontrol biaya adalah untuk menyediakan kontraktor umum dan/atau pemilik dengan informasi mengenai biaya proyek riil dibandingkan dengan biaya yang dianggarkan/diantisipasi. Perbandingan biaya ini menjadi esensial untuk tujuan kontrol internal. Panduan biaya standar digunakan oleh kontraktor umum untuk menghitung penawaran. Panduan-panduan ini mengandung kompilasi data biaya untuk setiap fase pembangunan. Terdapat juga panduan data biaya pembangunan untuk tingkat gaji keserikatan dan non-keserikatan. Apabila Pengawas jasa perlu memperkirakan biaya pembangunan sebagai bagian dari analisis penelitian, penting untuk menggunakan tingkat gaji yang tepat.

Subkontraktor melakukan penawaran terhadap pekerjaan dalam cara yang mirip dengan kontraktor umum. Subkontraktor juga dapat mengumpulkan penawaran dari sub-subkontraktor untuk pembangunan khusus.

Gambar bekerja dan spesifikasi menyediakan informasi untuk memungkinkan kontraktor umum untuk memperkirakan biaya pembangunan proyek. Bersamaan dengan penggunaan alat perkiraan sendiri, kontraktor juga umumnya memiliki subkontraktor dan informasi pemasok bahan yang siap digunakan. Apabila diperlukan, kontraktor umum dapat melakukan rincian persiapan dan/atau gambaran toko untuk memperkirakan biaya pembangunan bagian-bagian bangunan gedung secara tepat. Kontraktor umum mengumpulkan seluruh informasi dari perkiraannya dan subkontraktor kemudian menambahkan jumlah untuk pengeluaran tambahan dan keuntungan. Perkiraan biaya final digunakan dalam penawaran kompetitif untuk pembangunan proyek.

Biaya perkiraan bangunan gedung atau proyek dibagi dan diatur melalui pembagian pembangunan sebagaimana ditunjukkan dalam spesifikasi. Perkiraan biaya selanjutnya dirincikan per transaksi dan per barang. Kontraktor umum dapat memiliki bank informasi untuk memperkirakan biaya tenaga kerja dan bahan. Sebaliknya, kontraktor akan bergantung pada salah satu perkiraan biaya yang ada.

10.2.6 Pengawasan Tempat

Pengawas tempat sebaiknya diberikan daftar *checklist* untuk membantu pelaksanaan inspeksi dari awal pembangunan hingga akhir

pembangunan dan operasi. Dalam *checklist* ini, sebaiknya ada seluruh persyaratan yang dibutuhkan untuk mencapai gedung hemat energi.

10.2.7 Pembangunan (Kerja Lapangan)

Pekerjaan lapangan merupakan tahap keempat dari proses pembangunan, yaitu pembangunan proyek itu sendiri. Pekerjaan lapangan mencakup ijin pembangunan, subkontraktor, scheduling subkontraktor, *shop drawing*, penyerahan proyek, dan perintah pergantian.

Izin Pembangunan

Pembangunan baru dapat berjalan setelah pemerintahan kota setempat memberikan izin pembangunan. Aplikasi untuk mendapatkan izin pembangunan dilakukan dengan cara menyerahkan spesifikasi dan cetakan biru kepada departemen pembangunan pemerintah dan aplikasi perizinan. Waktu yang dibutuhkan untuk pengeluaran izin bisa sangat lama, terutama dalam kasus pembangunan baru. Kontraktor umum atau pemilik gedung mungkin harus menyerahkan hasil uji tanah, studi dampak terhadap lingkungan, dan studi atau hasil pengujian lainnya. Kadang-kadang, *hearing* publik diwajibkan apabila terdapat perlawanan terhadap proyek pembangunan. Secara umum, izin dikeluarkan dalam waktu beberapa bulan. Biaya perizinan dan pelaksanaan studi-studi terkait akan menjadi tanggung jawab dari pemilik gedung atau kontraktor umum.

Proyek pembangunan wajib mengikuti standar aturan pembangunan yang dapat diterapkan. Inspektur gedung akan terlibat di beberapa tahap pembangunan untuk memverifikasi bahwa proyek berjalan sesuai dengan aturan pemerintah setempat.

Subkontraktor

Subkontraktor berkisar dari pekerja tunggal sampai perusahaan nasional yang berdagang secara publik atau divisi perusahaan yang lebih besar. Kontraktor umum memiliki jangkauan pekerjaannya yang terbatas; meliputi keahlian, pengetahuan, atau kemampuan spesifik. Sedangkan tugas seorang subkontraktor mencakup *plumber*, ahli listrik, pembuat kerangka, dan tukang semen, menandatangani kontrak dengan kontraktor umum, serta menyediakan bahan mentah yang akan digunakan di bidang keahliannya. Kontraktor umum yang bertanggung jawab membayar subkontraktor,

Gambar bekerja dan spesifikasi menyediakan informasi untuk memungkinkan kontraktor umum untuk memperkirakan biaya pembangunan proyek.

Penyerahan dokumen proyek menjelaskan hal-hal berikut mengenai setiap benda: tujuan penggunaan, fungsi, metode atau kebutuhan pemasangan, dan tanggal pemasangan.

dan bukan pemilik properti. Bahan-bahan yang dibeli subkontraktor dikirim langsung ke tempat pembangunan. Pekerjaan subkontraktor dapat dikerjakan secara bertahap atau secara terus-menerus.

Penjadwalan Subkontraktor

Kontraktor umum seharusnya menjadwalkan pekerjaan subkontraktor agar proses pembangunan dapat berjalan lancar, dan pekerjaan selesai tepat waktu. Kontraktor umum juga bertanggung jawab untuk memastikan bahwa para subkontraktor tidak menghambat pekerjaan satu sama lain. Pengurutan subkontraktor ini disebut "*critical path*".

Contoh pengurutan jadwal subkontraktor untuk proyek kecil adalah sebagai berikut:

- a. Kosongkan lahan (dapat meliputi penghancuran struktur yang sudah ada)
- b. Gali lahan (dapat meliputi penggalian lobang dan *leveling*)
- c. Tuangkan fondasi
- d. Kerangka baja dan/atau semen
- e. Pemberian kerangka kasar
- f. Elektrikal kasar
- g. Lantai semen
- h. Atap
- i. Pemanasan dan pendinginan ruangan
- j. Saluran untuk pemanasan dan pendinginan ruangan
- k. Lift dan/atau eskalator
- l. Sprinkler (untuk kebakaran) dan peralatan keselamatan lainnya
- m. Pemasangan perlengkapan elektrikal
- n. Isolasi dan *weatherstrip*
- o. Kerangka jendela dan bingkai pintu
- p. Pemasangan tile dan kelereng
- q. Pemasangan langit-langit akustikal yang digantung
- r. Pemasangan toilet, tempat cuci tangan, dan perlengkapan *plumbing* lainnya
- s. Cat dinding (dalam dan luar)

Shop Drawings

Gambar bekerja (*working drawings*) merupakan gambar keseluruhan tataruang gedung untuk dapat ditunjukkan ke kontraktor umum. Pedagang dan pemasok khusus menggunakan gambar bekerja ini untuk membuat *shop drawings* untuk benda-benda seperti lapisan granit, kabinet dan *countertop*, baja struktural, dll. *Shop drawings* menunjukkan detil dari komponen bangunan khusus, dan biasanya dihasilkan setelah fase desain final namun sebelum awal fase pembangunan. Gambar-gambar disiapkan berdasarkan instruksi yang terdapat dalam Dokumen A201. Arsitek/tenaga ahli akan

memeriksa bahwa setiap *shop drawing* memiliki ukuran yang tepat dan mengikuti desain gedung yang diinginkan.

Penyerahan Dokumen Proyek

Penyerahan dokumen proyek merupakan bagian penting dari proses pembangunan. Setiap barang bangunan yang dipasang harus mendapatkan persetujuan dari arsitek untuk memastikan bahwa barang atau produk tersebut memenuhi spesifikasi teknis. Penyerahan dokumen proyek menjelaskan hal-hal berikut mengenai setiap benda: tujuan penggunaan, fungsi, metode atau kebutuhan pemasangan, dan tanggal pemasangan. Saat pembangunan proyek dimulai, arsitek dan/atau tenaga ahli mengawasi progres kontraktor dan seringkali juga harus menyetujui pembayaran kontraktor secara bertahap. Arsitek/tenaga ahli juga dapat membuat modifikasi terhadap rencana bangunan gedung sebagaimana diperlukan

Perintah Perubahan

Perintah perubahan adalah revisi kontrak tertulis yang dapat meningkatkan atau menurunkan harga kontrak total. Dokumen perintah perubahan mengandung nomor perintah perubahan, tanggal perintah perubahan, dan penjelasan perubahan, serta jumlah dari perintah perubahan. Kontraktor, sesuai dengan syarat-syarat yang disetujui di kontrak, juga dapat mengeluarkan perintah perubahan.

Pembayaran Pembangunan

Tahap kelima dari proses pembangunan adalah tahap pembayaran pembangunan. Seluruh kontrak pembangunan berlangsung selama periode waktu yang lama. Saat kontraktor menyelesaikan jumlah pekerjaan yang sudah ditentukan, pemilik membayar kontraktor untuk pekerjaan yang telah selesai tersebut.

Spesifikasi Pembayaran

Spesifikasi untuk pembayaran kontrak dijelaskan dalam Dokumen A201, di bawah "Syarat-syarat Umum Kontrak Pembangunan." Dokumen A201 mengandung Formulir AIA G701 dan G702. Formulir G702 mengharuskan perincian penawaran terhadap bagian-bagian pekerjaan berbeda. Ahli desain proyek (arsitek atau tenaga ahli) akan meninjau nilai yang terkandung dalam jadwal G702 secara teliti, untuk diterima/ditolak. Peninjauan teliti terhadap formulir ini dilakukan karena dampaknya terhadap pemberian dana

di masa depan untuk membayar progres pembangunan (hingga selesai). Formulir ini merupakan alat kontrol biaya proyek. Arsitek dan/atau ahli teknik memiliki tanggung jawab legal dan *fiduciary* terhadap alokasi biaya yang tepat. Arsitek dan pemilik menginginkan distribusi dana yang tepat waktu dan cukup untuk memastikan pembayaran progres yang lancar, serta menjamin adanya dana yang cukup untuk membayar penyelesaian bagian akhir proyek.

Apabila barang-barang pembangunan dibagi ke dalam bagian-bagian terpisah, ini akan menguntungkan kontraktor. Semakin banyak pekerjaan terhadap satuan barang yang dapat diidentifikasi dan diselesaikan oleh kontraktor, semakin banyak pembayaran yang dapat diterima oleh kontraktor. Penjadwalan umum nilai-nilai dalam G702 dapat mengandung 15-20 halaman dan mencakup ratusan, atau ribuan, harga barang. Kontraktor menyerahkan G702 untuk meminta pembayaran secara reguler. Kontraktor dapat mengisi G702 dengan cara mendaftarkan biaya pembangunan total untuk setiap pekerjaan yang telah diselesaikan hingga tanggal pengisian tersebut. Jumlah yang sebelumnya telah dibayar untuk pekerjaan tersebut dan jumlah yang didapatkan pada periode penagihan ini dikurangi dari jumlah total yang akan didapatkan dari sisa uang, minus upah penyelesaian pekerjaan.

Analisis G702 oleh pemeriksa jasa merupakan hal yang sangat penting. Dokumen ini memmpaparkan perincian dan analisis biaya pembangunan, dan karena dipersiapkan oleh pihak ketiga, dokumen ini memiliki unsur objektivitas.

Perintah Perubahan

Arsitek/ahli teknik dapat mengubah perintah rencana pembangunan sebagaimana diperlukan. Perintah perubahan sebaiknya ditinjau untuk perubahan jadwal pembayaran yang disetujui.

10.3 Pengawasan & Penyerahan (Kontraktor)

Untuk menghindari akumulasi kesalahan, pengujian dan pengawasan sebaiknya dilakukan secara bertahap. Pengujian dan pemeriksaan performa gedung sesaat sebelum penyerahan proyek mungkin tidak akan memberikan kesempatan untuk perbaikan.

10.3.1 Penyelesaian

Fase akhir dari proses pembangunan dikenal sebagai tahap penyelesaian, dan fase ini mempersiapkan gedung untuk hunian (penyerahan).

As-built plans

Setelah proyek atau fasilitas selesai dibangun, arsitek dan kontraktor menyiapkan berkas rencana yang dikenal sebagai "*as-built plans*". Rencana-rencana ini menunjukkan bagaimana fasilitas dibangun dan juga memasukkan perubahan-perubahan terhadap rancangan pembangunan awal. Sangat penting untuk pemeriksa jasa untuk menggunakan "*As-built drawings*" saat meninjau studi segregasi biaya, karena gambar-gambar tersebut merepresentasikan pembangunan proyek secara nyata.

Pemberitahuan Penyelesaian Parsial

Dalam beberapa kasus, pemilik mungkin ingin menghuni sebagian dari bangunan gedung yang telah dibangun. Dalam kasus tersebut, petugas bangunan gedung lokal akan melakukan inspeksi untuk menentukan apakah bagian fasilitas tersebut telah memenuhi seluruh peraturan pembangunan gedung dan aman untuk dihuni. Apabila perijinan disetujui, akan dikeluarkan "Sertifikat/Pemberitahuan Hunian Parsial".

Pemberitahuan Penyelesaian Substansial

Petugas bangunan gedung lokal akan mengeluarkan pemberitahuan ini apabila 95% dari pembangunan telah diselesaikan. Pemberitahuan Penyelesaian / Sertifikat Hunian

Sebuah "Pemberitahuan Penyelesaian"/"*Notice of Completion*" akan diminta oleh kontraktor/pemilik saat bangunan gedung telah selesai 100%. Proyek ini harus lulus dari inspeksi final petugas bangunan gedung lokal untuk mendapatkan "Pemberitahuan Penyelesaian" dan "Sertifikat Hunian". Dokumen-dokumen ini dicatat di kantor pencatat lokal dan properti tersebut kemudian akan dinilai untuk tujuan mengetahui pajak properti.

10.3.2 Evaluasi Pasca Pembangunan

Rapat evaluasi pasca pembangunan yang meliputi seluruh pihak termasuk arsitek, ahli teknik, kontraktor, dan staf pemeliharaan dan operasional perlu dilakukan guna mengidentifikasi dan

Analisis G702 oleh pemeriksa jasa merupakan hal yang sangat penting. Dokumen ini memmpaparkan perincian dan analisis biaya pembangunan, dan karena dipersiapkan oleh pihak ketiga, dokumen ini memiliki unsur objektivitas.

mengevaluasi isu-isu penting yang ditemukan selama tahap desain dan pembangunan. Ini dapat digunakan sebagai proses pembelajaran untuk meningkatkan pengetahuan, keahlian dan kolaborasi seluruh pihak.

10.4 Jaminan Kualitas

Bangunan gedung memiliki umur minimal 50 tahun. Oleh karena itu, agen kontraktor dan pemerolehan sebaiknya mencari bahan dan komponen pembangunan yang memiliki daya tahan berkualitas untuk meminimalisir biaya pemeliharaan dan perbaikan.

Dalam banyak kasus, hasil antara kondisi pencahayaan dan penggunaan dan sifat perlawanan dari unsur gedung tidak dapat diketahui secara pasti. Meskipun demikian, berikut beberapa panduan mengenai probabilitas kegagalan yang dapat diperoleh dengan mengelompokkan unsur-unsur yang terdapat pada Tabel 18.

Beberapa komponen dapat memiliki masa hidup yang diperpanjang dengan proses penggantian bagian-bagian kecil pada jarak waktu teratur. Ini berlaku untuk unsur-unsur seperti genteng atap, meskipun akhirnya akan lebih hemat dan fungsional untuk mengganti seluruh atap sekaligus.

Dengan asumsi kondisi pembukaan dan penggunaan normal, penentuan periode untuk pembaharuan-pembaharuan besar dapat mengikuti pola yang diindikasikan dalam gambar di atas. Contohnya, bangunan gedung yang berumur 60 tahun akan memiliki periode pembaharuan sekitar setiap lima tahun. Selain pembaharuan dan penggantian besar, sejumlah barang-barang yang lebih kecil memiliki periode pembaharuan dan penggantian yang tidak tentu. Meskipun demikian, periode pembaharuan dan penggantian untuk barang-barang kecil akan bersifat relatif konstan untuk setiap barang.

Apabila diasumsikan bahwa biaya pemeliharaan rutin memiliki jumlah 0,5% dari biaya awal setiap tahun, maka biaya pemeliharaan rutin akan berjumlah 2,5% dari biaya awal per lima tahun. Aliran uang selama masa hidup gedung ditunjukkan dalam Tabel 19.

Biaya pemeliharaan pada Tabel 19 akan didistribusikan untuk seluruh komponen bangunan gedung.

	%	Years												
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Foundations	7													
Frame	8													
Upper floors	8													
Roof														
construction	4													
coverings	2					●				●				
Stairs	1													
External walls	10													
pointing	(1)							●						
Windows	6													
Doors														
external	1							○	50%					
internal	2													
Partitions	4													
Ironmongery	1					○	50%			○	50%			
Wall finish	4							○	10%					
Floor finish	6			○		○		○		○			○	10%
Celling finish	4							○	10%					
Decoration														
external	½	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
internal	1½	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Sanitary fittings	2					○	50%			○	50%			
Water or sanitation	4									●				
Heating														
boiler	1					●				●				
pipes and rails	7									●				
Electrical														
wiring	5									●				
fitting	2				●			●			●			
Drainage	3													
External works	6					○	25%			○	25%			

Tabel 18. Daya Tahan Komponen dan Bahan Bangunan Gedung

Fungsi matriks pada Tabel 20 adalah untuk memberi arahan penggunaan sumber daya yang efektif setelah mencatat masa hidup komponen bangunan dalam gedung. Secara umum, deteriorasi dan cacat bangunan dapat ditentukan berdasarkan biaya pemeliharaan dan perbaikan.

Komponen 1, 2, 6,7,8, 9 and 10 memiliki dampak terhadap bangunan gedung hemat energi. Agen pemerolehan dan kontraktor harus memberikan fokus lebih tinggi pada komponen-komponen dengan persentase tinggi untuk memastikan komponen tersebut akan bertahan lebih lama dan memenuhi persyaratan efisiensi energi.

Year	Building's Component	Maintenance Costs (% Investment Cost)	Cummulative Costs (% Investment Cost)
5	Routine + Decoration	4,5	4,5
10	Routine + Floor Finishes + Decoration	5,1	9,6
15	Routine + Decoration + Electrical Appliances	6,5	18,1
20	Routine + Decoration + Roof Finishes + Metal Equipments + Floor Finishes + Sanitary Fixtures + Boiler + Exterior Works	11,1	27,2
25	Routine + Decoration	4,5	31,7
30	Routine + Decoration + Exterior Doors + Paints + Floor & Ceiling Finishes + Electrical Installation & Appliance	14,4	46,1
35	Routine + Decoration	4,5	50,6
40	Routine + Decoration + Roof Finishes + Metal Equipment + Floor Finishes + Sanitary Fixture + Plumbing + Boiler + Water Heater Installation + Exterior Works	22,1	72,7
45	Routine + Decoration + Electrical Appliances	6,5	79,2
50	Routine + Decoration + Floor Finishes	5,1	84,3
55	Routine + Decoration	4,5	88,8
60	Routine	2	91,3

Table 19. Biaya Kumlatif atas Pemeliharaan Gedung

DISTRIBUTION OF MAINTENANCE & REPAIR COSTS													
NO	Function Components	Apartment			Department Store	Supermarket	Office Building		Hospital	Education Institution		Hotel	Religious Facility
		Low rise	Medium Rise	High Rise			Low Rise	High Rise		Elementary	College		
1	Exterior Enclosure	6-7%	6-7%	0-0,5%	0-0,5%	0-0,5%	7-8%	6-7%	1-2%	2-3%	5-6%	2-3%	9-10%
2	Roofing	2-3%	2-3%	6-7%	6-7%	6-7%	8-9%	1-2%	2-3%	11-12%	4-5%	4-5%	6-7%
3	Interior Construction	11-12%	12-13%	2-3%	2-3%	2-3%	6-7%	3-4%	17-18%	4-5%	13-14%	10-11%	2-3%
4	Stairs	0,5-1%	0,5-1%	0-0,5%	0-0,5%	0-0,5%	0-0,5%	0,5-1%	0-0,5%	0-0,5%	0-0,5%	0,5-1%	0-0,5%
5	Interior Finishes	12-13%	10-11%	31-32%	31-32%	31-32%	18-19%	18-19%	16-17%	26-27%	14-15%	14-15%	19-20%
6	Lift	4-5%	8-9%	4-5%	4-5%	4-5%	3-4%	17-18%	3-4%	0-0,5%	4-5%	0-0,5%	0-0,5%
7	Plumbing	21-22%	25-27%	8-9%	13-14%	13-14%	11-12%	8-9%	19-20%	13-14%	10-11%	30-31%	20-21%
8	HVAC	25-27%	22-23%	20-21%	20-21%	20-21%	25-26%	22-28%	27-28%	26-27%	16-17%	32-33%	26-27%
9	Fire Protection	1-2%	2-3%	1-2%	1-2%	1-2%	2-3%	2-3%	0,5-1%	1-2%	1-2%	0,5-1%	1-2%
10	Electrical	13-14%	11-12%	20-21%	20-21%	20-21%	15-17%	19-20%	9-10%	13-14%	15-16%	5-6%	7-8%

Tabel 20. Distribusi Biaya Pemeliharaan dan Perbaikan



11. Aspek-Aspek yang Ditekankan pada Berbagai Jenis Bangunan Gedung untuk Mendukung Penghematan Energi

Dalam mendukung strategi bangunan gedung hemat energi, selubung bangunan yang memiliki dampak besar terhadap HVAC dan konsumsi energi seharusnya dipertimbangkan secara teliti. Meskipun demikian, setiap jenis bangunan gedung seharusnya memerhatikan berbagai aspek.

11.1 Bangunan Gedung Kantor

Karakteristik dari bangunan gedung kantor adalah:

- Jam kerja 8-10 jam per hari
- Dapat berfungsi sebagai kantor yang disewakan, kantor pemerintahan/institusional, atau kantor perusahaan.
- 70-80% dari area lantai akan digunakan untuk ruang kerja.
- Area lantai akan terbagi ke area publik, pribadi, dan pelayanan jasa.
- Area pelayanan dan kamar mandi akan tersentralisasi.
- Penyewaan efektif berkisar 9-13 meter.
- Kenyamanan termal dan suhu akan menjadi pertimbangan utama.

11.2 Rumah Sakit

Karakteristik dari rumah sakit adalah:

- Jam kerja 24-jam
- Dapat berfungsi sebagai rumah sakit umum, rumah sakit khusus/spesialis, dan/atau rumah sakit untuk riset/pengajaran.
- Terbagi ke kategori rumah sakit Kelas A, Kelas B, dan Kelas C, yang membedakan jumlah bangsal, kamar, dan fasilitas medis.
- Kamar mandi terdapat dalam setiap bangsal.
- Area lantai terbagi ke area publik, pribadi, dan pelayanan jasa.
- Sistem gas medis sebaiknya dipertimbangkan secara teliti.
- Keamanan dan menyediakan lingkungan sehat merupakan pertimbangan utama.

11.3 Gedung Komersial (Mal, Pusat Perbelanjaan)

Karakteristik dari gedung komersial adalah:

- Jam kerja 12-16 jam.
- Dapat berfungsi sebagai toko departemen, mall, dan/atau pertokoan lain.
- Sebagian besar area merupakan ruang publik.
- Area pelayanan jasa dan kamar mandi didistribusikan berdasarkan zona.
- Kenyamanan termal, pencahayaan, keamanan, dan keselamatan merupakan pertimbangan utama.

11.4 Hotel

Karakteristik hotel adalah:

- a. Jam kerja 24 jam.
- b. Dapat berfungsi sebagai hotel kota, hotel transit, hotel liburan dan/atau hotel butik;
- c. Terbagi dalam kategori bintang 5, bintang 4, bintang 3, bintang 2, dan bintang 1 yang dibedakan berdasarkan jumlah kamar dan standar fasilitas;
- d. Kamar mandi sebagian besar didistribusikan dalam setiap kamar.
- e. Sebagian besar area lantai terbagi ke dalam area publik, area yang dibatasi, dan area pelayanan jasa.
- f. Keselamatan, keamanan dan kenyamanan termal adalah pertimbangan utama.

11.5 Apartemen

Karakteristik dari apartemen adalah:

- a. Jam kerja 24-jam
- b. Dapat berfungsi sebagai apartemen rental, personal, dan/atau apartemen jasa.
- c. Apabila apartemen berfungsi sebagai apartemen jasa, ia dapat dikarakterisasikan seperti hotel dengan ruangan yang terklasifikasi sebagai *super-deluxe* (apartemen tipe studio), *junior* (apartemen dengan satu kamar tidur), *presidential suites* (apartemen dengan dua kamar tidur) atau *penthouse* (apartemen dengan lebih dari dua kamar tidur).
- d. Dikategorikan berdasarkan jumlah unit dan fasilitas.
- e. Toilet didistribusikan di setiap unit.
- f. Sebagian besar area lantai akan terbagi ke dalam area publik, area yang dibatasi, dan area pelayanan jasa.
- g. Keselamatan, keamanan, dan kenyamanan termal adalah pertimbangan utama.

11.6 Gedung Pendidikan

Karakteristik gedung pendidikan adalah:

- a. Jam kerja 8-14 jam per hari.
- b. Dapat berfungsi sebagai SD, SMA, Tempat perkuliahan dan Universitas dengan atau tanpa asrama.
- c. Apabila gedung pendidikan menyediakan asrama, asrama akan memiliki karakteristik serupa dengan apartemen.
- d. 70-80% dari area lantai akan digunakan untuk ruang kerja.
- e. Sebagian besar area lantai akan terbagi ke dalam area publik dan area jasa.
- f. Penyewaan efektif berkisar 9-13 meter.
- g. Kenyamanan termal, pencahayaan, dan keselamatan adalah pertimbangan utama.



12. Kesimpulan

Seluruh informasi dalam panduan ini disediakan untuk membantu arsitek, ahli teknik, dan konsultan untuk menghasilkan desain bangunan gedung yang terintegrasi guna mencapai efisiensi energi. Karena terdapat banyak persyaratan untuk mencapai efisiensi energi, panduan ini juga mencakup regulasi, kode, dan standar teknis untuk memberikan pengetahuan komprehensif mengenai bangunan gedung hemat energi.

Panduan Teknis ini akan membantu arsitek, ahli teknik, dan konsultan untuk menjelaskan keuntungan dari praktek pembangunan gedung yang mengedepankan efisiensi energi kepada pengembang dan pemilik bangunan gedung, keuntungan yang mencakup isu-isu terdekat seperti biaya energi meningkat secara drastis, serta tantangan-tantangan global seperti kelangkaan bahan bakar fosil.



13. Referensi

- a. Aroth, Agas; Energy Efficiency Building Design Guidelines for Botswana. Danish Energy Management A/S and the Government of Botswana. Botswana, 2007.
- b. ASHRAE; Handbook - Fundamentals. USA, 2009.
- c. ASHRAE; ASHRAE Standard 90.1; USA.
- d. ASHRAE; ASHRAE Journal. USA, August, 2004;
- e. ASHRAE; ASHRAE Guideline 0 - The Commissioning Process; USA, 2005.
- f. Birkeland, J. ; Design for Sustainability - A Sourcebook of Integrated Ecological Solutions; Earthscan. UK, 2002.
- g. Burke, Bill and Keller, Marian; Fundamentals of Integrated Design for Sustainable Building; John Willey and Sons, Inc. USA, 2009.
- h. Carlsen, Robert D. and McHugh, James F; Handbook of Construction Operation Forms and Formats; Prentice Hall, Inc. USA, 1978.
- i. Danish Energy Management A/S; Passive Solar Design Guidelines. UNDP, 2010.
- j. DIN EN 16001: EMS in Practice, Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety. Germany, 2010.
- k. Doty, Steve; PE, CEM; Commercial Energy Auditing Reference Handbook. 2009.
- l. Endro, Herman; Lighting System – Training for Energy Auditor; EINCOPS-Danida, Jakarta. Indonesia, 2011.
- m. Energy Efficient Elevators And Escalators; Intelligent Energy Europe. 2010.
- n. Gevorkian, P. ; Alternative Energy Systems in Building Design; McGraw-Hill Co. USA, 2010
- o. Gevorkian, P; 2006; Sustainable Energy Systems in Architectural Design - A Blueprint for Green Building; McGraw-Hill. USA, 2006.
- p. Hawaii Commercial Building Guidelines for Energy Efficiency. USA 2004.
- q. Holtz , Michael J, A.I.A. ; Passive Solar Handbook Volume I – Introduction to Passive Solar Concepts, United States Air Force. USA, 1980.
- r. IESNA; IESNA Lighting Handbook 9th edition; IESNA. USA.
- s. International Energy Agency: Task 23 Integrated Design Process. Germany, 2003.
- t. International Energy Agency: Energy Efficiency Requirements In Building Codes, Energy Efficiency Policies For New Buildings, OECD/IEA. France, 2008.
- u. Jayamaha, Lal Dr. ; Energy-Efficient Building Systems: Green Strategies for Operation and Maintenance; McGraw-Hill Professional. New York, USA, 2007.
- v. Kotz, Philip; Clean System Approach to Air Conditioning Heating, Piping and Air Conditioning Journal.
- w. Liska, Roger W. and Morrison Liska, Judith; Building Maintenance – Forms, Checklists and Procedures; Prentice Hall. USA, 2001.

- x. Low, Kenny; United World College South East Asia (East Campus) - A High Performance Building Case Study; Presentation. Singapore; 2012.
- y. Mariager, Kirsten; Duct and Piping Guideline; Danida. Vietnam, 2011.
- z. Mariager, Kirsten; Energy Management Handbook for Key Energy Buildings in Vietnam, Danida. Vietnam, 2012.
- aa. Mendler ,Sandra; Odell, William and Lazarus, Mary Ann; 2006; The HOK Guidebook to Sustainable Design; Second Edition; John Willey & Sons, Inc.. USA, 2006.
- bb. Nasir, Rana Yusuf Ir., Proper Testing & Commissioning Presentation. Indonesia, 2012.
- cc. Nasir, Rana Yusuf and Sulistiyanto, Totok; Achieving High Performance Building Through Green Building Rating Tools in Indonesia; Green Buildings and Green Growth - The Enabling Role of Standards and Trade. USA. 2011
- dd. Osso, Annetto and all; Sustainable - Building Technical Manual – Green Building Design, Construction, and Operations; Produced by Public Technology Inc. US Green Building Council. USA, 1996.
- ee. Raftery et all; Calibration of a Detailed simulation model to Energy Monitoring System Data: A Methodology and Case Study; 2009.
- ff. Sander, John; Lowering Energy Consumption using Lubricants; <http://www.worldcement.com>, 2010.
- gg. Santanamouris, M. at all; Energy and Climate in the Urban Built Environment; James & James (Schinece Publishers) Ltd. UK 2001.
- hh. Satwiko, Prasasto and Istiadji, Djoko; Computer Simulation of Low Energy Building Case Studies, Launching Week EINCOPS-Danida, Jakarta. Indonesia, 2011.
- ii. Satwiko, Prasasto and Istiadji, Djoko; Architecture: Computer Simulation of Low Energy Building- Case studies , Atma Jaya Yogyakarta University. Indonesia, 2010.
- jj. SNI (Indonesia National Standardization Agency) 6197-2011 Konservasi Energi pada Sistem Pendahayaan.
- kk. SNI (Indonesia National Standardization Agency) 6390 – 2011 Konservasi Energi pada Sistem Tata Udara.
- ll. SNI (Indonesia National Standardization Agency) 03-6572-2001 Tata Cara Perancangan Sistem Ventilasi Dan pengkondisian Udara Pada Bangunan Gedung.
- mm. SNI (Indonesia National Standardization Agency) 6389:2011 :Konservasi Energi Selubung Bangunan Pada Bangunan Gedung.
- nn. Statistics book of Electricity and Energy Number 22 – 2011.
- oo. Sulistiyanto, Totok; 2009; Overview of EE and Green Programs in Indonesia; APEC Expert Group on Energy Efficiency & Conservation Meeting No. 34. Taipei, China, 2009.
- pp. Sulistiyanto, Totok; Capacity Development Plan for Energy Efficiency and Conservation in Buildings, Green Buildings and Green Growth: The Enabling Role of Standards and Trade, 37th Meeting of the APEC Expert Group on Energy Efficiency and Conservation (EGEE&C 37) & Associated Meetings". Washington DC., USA, 2012.
- qq. Tetlow, Karin; New Elevator Technology: The Machine Room-Less Elevator.
- rr. Wordsworth, P. ; Lee's Building Maintenance Management - 4th Edition; Blackwell Science. Australia, 2011.

ISBN 978-602-17264-2-6 (jil.2)



MINISTRY OF FOREIGN AFFAIRS OF DENMARK
DANIDA | INTERNATIONAL
DEVELOPMENT COOPERATION

