

HERMAN FITHRA

STUDI KARAKTERISTIK PENGUNAAN SERBUK BAN BEKAS (Perkerasan AC dan HRS)

Konsep pemaparan secara pragmatis menjadi acuan penulisan buku referensi dengan judul "Studi Karakteristik Penggunaan Serbuk Ban Bekas (Perkerasan AC dan HRS)" ini. Hal ini dilakukan agar mampu memberikan pengetahuan dasar tentang material penyusun campuran beton laston (AC-BC) dan laston (HRS-WC) yang terdiri dari agregat, filler dan aspal serta bahan modifikasi lainnya seperti serbuk ban karet kepada mahasiswa, dosen dan pihak yang terlibat dalam konstruksi perkerasan jalan.

Tidak teralalu banyak muatan ilmiah yang teralalu rumit ataupun latar belakang yang teralalu jauh, sehingga diharapkan dapat dibaca dengan santai dan mendorong pengenalan lebih jauh terkait campuran beton laston (AC-BC) dan laston (HRS-WC).

Buku referensi ini cukup cocok bagi mahasiswa dan dosen serta peneliti yang tertarik dalam bahan dan perkerasan jalan. Sehingga dapat memberikan informasi tambahan dalam pengembangan material untuk perkerasan lentur AC-BC dan HRS-WC yang telah umum dipakai di Indonesia.

Ban bekas merupakan limbah dari roda kendaraan bermotor yang tidak layak pakai dan sangat besar kemungkinannya untuk tidak digunakan lagi di jalan raya. Di Indonesia produksi ban pada tahun ini mencapai 70 juta unit dan terjadi peningkatan besaran produksi ban rata-rata 1 juta/tahun. Hal ini sejalan dengan semakin meningkatnya industri otomotif dan kebutuhan pasar domestik maupun untuk ekspor.

Pada sisi lain pemanfaatan ban bekas di Indonesia masih sangat terbatas, antara lain hanya untuk pelindung dermaga (fender), tali, sandal, tempat sampah dan kerajinan kursi. Dalam beberapa tahun ke depan, limbah karet ban bekas akan menjadi masalah yang cukup serius dan rumit karena limbah karet ban bekas sangat sulit diuraikan oleh lingkungan dan sangat tahan terhadap serangan kimia dan asam. Pemusnahan karet ban bekas dengan cara dibakar pun juga sulit dilakukan, karena ban bekas hanya akan terbakar pada suhu di atas 322°C. Oleh karena itu perlu diupayakan banyak terobosan untuk pemanfaatan limbah karet ban bekas ini. Salah satu kemungkinan yang dapat dilakukan adalah penggunaannya sebagai pengganti sebagian agregat halus pada campuran beton AC-BC dan HRS-WC. Berdasarkan hasil penelitian ini, penggunaan serbuk ban bekas pengganti agregat halus untuk campuran beton AC-BC dan HRS-WC masih belum memuaskan, sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan melakukan beberapa modifikasi terhadap material maupun zat aditif lainnya.

Dalam hal ini perlu adanya penelitian lebih lanjut untuk mengetahui cara menaikan nilai stability, flow dan Marshall Quotient. Selain Marshall Test juga dilakukan usaha-usaha agar nilai volumetrik berupa volume pori diantara butir agregat didalam beton aspal padat (VMA), volume pori beton aspal padat (VITM) dan volume pori beton aspal padat terisi oleh aspal (VFVA) serta nilai density memenuhi spesifikasi teknik yang telah ditetapkan oleh Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia.

Penulis ingin mengetahui karakteristik dari campuran aspal beton AC-BC dan HRS-WC dengan penggunaan serbuk ban bekas sebagai pengganti atau tambahan agregat halus. Sehingga memungkinkan untuk digunakan sebagai material perkerasan jalan.

Karena alasan tersebut, maka peneliti tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul seperti tersebut diatas. Penelitian ini diharapkan akan mengetahui karakteristik penggunaan serbuk ban bekas pada campuran aspal beton AC-BC dan HRS-WC, sebagai pengganti agregat halus dengan komposisi 25%, 50%, 75% dan 100% dari agregat halus yang digunakan.

Buku referensi hasil penelitian ini membahas pengujian sifat-sifat fisik dari agregat, filler dan aspal. Juga tata cara menghitung kadar aspal tengah dan menentukan kadar aspal optimum dari suatu campuran beton AC-BC dan HRS-WC. Serta memperlihatkan hasil Marshall Test serta volumetrik dan campuran beton AC-BC dan HRS-WC. Dalam rangka inovasi dan menambah perbendaharaan buku-buku referensi hasil penelitian yang mengulas tentang bahan pengganti atau substitusi untuk campuran aspal beton AC-BC dan HRS-WC. Penulis sangat mengharapkan masukan dari pembaca dan sekaligus menjadi buku referensi serta menjadi sebagai buku pegangan bagi para mahasiswa, dosen dan praktisi yang sedang mendalami bahan dan perkerasan jalan.

Karya penelitian ini dimaksudkan sebagai pengantar yang mengulas tentang tata cara memeriksa material aspal dan agregat, mencampur aspal dan agregat dalam campuran panas di laboratorium JMF, DMF dan ekstraksi di laboratorium serta trial mix dan core drill di lapangan sebagai pedoman kualitas. Sehingga buku referensi ini dapat dijadikan sebagai pegangan disamping buku-buku lainnya.

Materi penulisan buku referensi ini diambil dari beberapa literatur, baik berupa buku, jurnal, prosiding maupun sumbangan pemikiran lainnya. Hasil-hasil penelitian sebelumnya juga menjadi acuan penulisan buku referensi ini. Buku ini dikemas menjadi bahan penalaran dan diskusi lanjutan dalam rangka penemuan material lainnya untuk campuran aspal beton AC-BC dan HRS-WC.

ISBN 978-602-464-095-8



UNIMAL PRESS

Editor
Ismail, ST., MSM

UNIMAL PRESS

**STUDI KARAKTERISTIK
PENGUNAAN SERBUK
BAN BEKAS
(Perkerasan AC dan HRS)**



universitas
MALIKUSSALEH

HERMAN FITHRA

**Studi Karakteristik Penggunaan
Serbuk Ban Bekas
(Perkerasan AC dan HRS)**

Editor

Ismail, ST., MSM

UNIMAL PRESS

Judul: **Studi Karakteristik Penggunaan Serbuk Ban Bekas (Perkerasan AC dan HRS)**

xiv + 92 hal., 15 cm x 23 cm

Cetakan Pertama: Desember, 2019

Hak Cipta © dilindungi Undang-undang. *All Rights Reserved*

Penulis:

HERMAN FITHRA

Editor:

ISMAIL, ST., MSM

Perancang Sampul &

Penata Letak: **Eriyanto**

Pracetak dan Produksi: **Unimal Press**

Penerbit:

UNIMAL PRESS

Unimal Press

Jl. Sulawesi No.1-2

Kampus Bukit Indah Lhokseumawe 24351

PO.Box. 141. Telp. 0645-41373. Fax. 0645-44450

Laman: www.unimal.ac.id/unimalpress.

Email: unimalpress@gmail.com

ISBN:

978 – 602 –464- 095-8

ISBN 978-602-464-095-8



Dilarang keras memfotocopy atau memperbanyak sebahagian atau seluruh buku ini tanpa seizin tertulis dari Penerbit

Pengantar Penulis

Alhamdulillah, puji dan syukur Penulis panjatkan Kehadirat Allah SWT atas rahmad dan hidayahNya, sehingga penulis mampu menyelesaikan kembali sebuah buku referensi dengan judul “Studi Karakteristik Penggunaan Serbuk Ban Bekas (Perkerasan AC dan HRS)”. Shalawat beriring salam kepada junjungan alam, baginda Rasulullah nabi besar Muhammad SAW, yang telah menjadikan beliau sebagai *role model* dalam kehidupan.

Buku referensi ini dihasilkan dari penelitian yang Penulis lakukan terkait penggunaan bahan serbuk ban bekas sebagai bahan pengganti agregat halus. Penelitian ini menganalisis besaran persentase serbuk ban bekas yang dapat digunakan dalam campuran laston AC-BC dan laston HRS-WC dengan parameter *Marshall Test*.

Maksud dan tujuan dari diterbitkannya buku ini untuk menjadi salah satu bahan referensi bagi mahasiswa, dosen, alumni, pihak pemerintah maupun pihak lain yang mendalami dan terlibat dalam konstruksi jalan raya terutama perkerasan aspal. Buku ini diharapkan bisa menjadi pedoman terutama dalam hal perencanaan material, campuran panas aspal beton.

Pada kesempatan ini Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dekan Fakultas Teknik, Ketua Jurusan Teknik Sipil, Kepala Laboratorium Transportasi, Teknisi dan adik-adik mahasiswa yang membantu penelitian di laboratorium. Terbitnya buku ini juga berkat bantuan Bapak Al Chaidar, S.IP., M.Si selaku Ketua Unimal Press dan Bapak Ismail, ST., MSM selaku editor.

Selanjutnya, Penulis juga ingin menyampaikan apresiasi yang setinggi-tingginya kepada pihak-pihak yang telah membantu penerbitan buku referensi ini termasuk J. Kamal Alfasyari, Cut Eva Mauliza dan Joni Afriandy, ST., atas segala dukungan. Penulis sangat mengharapkan sumbangan saran dari sekalian pembaca demi kesempurnaan buku ini di masa yang akan datang.

Akhirnya kepada Allah Swt penulis berserah diri dan senantiasa berdoa semoga kita selalu berada dalam lindungan-Nya. Semoga buku ini bermanfaat bagi pembaca sekalian. Amiin Ya Rabbal Alamin.

Lhokseumawe, Desember 2019

Herman Fithra

Pengantar Editor

Bismillahirrahmanirrahim

Konstruksi Jalan di Indonesia sebahagian besar merupakan konstruksi lapisan perkerasan lentur, dimana aspal berfungsi sebagai bahan pengikat agregat. Aspal hanya berkisar antara 4-10% berdasarkan berat dan 10-15% berdasarkan volume dari campuran antara agregat dan aspal. Sehingga kualitas aspal sangat menentukan keawetan dari suatu perkerasan lentur.

Beton aspal campuran panas (*hotmix*) yang berupa *Asphalt Concrete (AC)*, *Hot Rolled Sheet (HRS)* dan *Split Mastic Asphalt (SMA)* merupakan jenis *hotmix* yang paling umum dipakai di Indonesia. Konstruksi lapisan perkerasan lentur ini merupakan campuran merata antara agregat, filler dan aspal sebagai bahan pengikat pada temperatur tertentu. Mengeringkan agregat dan mendapatkan tingkat kecairan yang cukup dari aspal, maka diperoleh kemudahan untuk mencampurnya. Sehingga material tersebut harus dipanaskan sebelum dicampurkan.

Pekerjaan pencampuran aspal dilakukan di pabrik pencampuran (*Asphalt Mixing Plant*) setelah itu dibawa ke lokasi penghamparan serta dihamparkan dengan alat penghampar (*Asphalt Finisher*), sehingga diperoleh lapisan lepas yang seragam dan merata untuk selanjutnya dipadatkan dengan mesin pemadat (*Wheel Loader* dan *Phineumatic Tire Rolled*) yang akhirnya didapatkan lapisan perkerasan lentur.

Benda uji yang dibuat untuk campuran aspal beton AC-BC atau HRS-WC dan material campuran aspal beton laston dan lataston yang akan digunakan untuk perkerasan jalan harus diperiksa kuantitas dan kualitasnya. Pemeriksaan kuantitas dan kualitas dapat dilakukan bersamaan. Pemeriksaan kuantitas dilakukan untuk proses pembayaran dan pemeriksaan kualitas dilakukan untuk mendapatkan perkerasan jalan yang memenuhi spesifikasi teknik

yang telah ditentukan, sehingga perkerasan jalan tersebut terjamin keawetannya tanpa perubahan bentuk yang berarti.

Pengujian kualitas dapat dilakukan dengan *Marshall Test* meliputi, nilai *stability* dan nilai *flow*, sedang *Marshall Quotient* berupa perbandingan nilai *stability* dengan nilai *flow*. Selain *Marshall Test* juga dilakukan pemeriksaan volumetrik berupa volume pori diantara butir agregat didalam beton aspal padat (*VMA*), volume pori beton aspal padat (*VITM*) dan volume pori beton aspal padat terisi oleh aspal (*VFVA*) serta nilai *density*.

Campuran aspal beton AC-BC atau HRS-WC memiliki tujuh karakteristik campuran, berupa stabilitas, keawetan, kelenturan atau fleksibilitas, ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue resistance*), kekesatan permukaan atau ketahanan geser, kedap air dan kemudahan pelaksanaan (*workability*).

Konstruksi perkerasan jalan jenis HRS-WC dinilai merupakan konstruksi perkerasan jalan yang paling cocok untuk lalulintas rendah, disebabkan kadar aspal yang lebih banyak sehingga lapisannya lebih kedap air dan dengan lalulintas yang rendah tidak akan cepat terjadi deformasi permanen.

Pada umumnya agregat halus untuk campuran aspal beton berasal dari abu batu kerikil melalui pemecah material agregat atau *stone crusher*. Tetapi pada beberapa kasus, penggunaan agregat buatan sebagai agregat pengganti agregat halus untuk campuran aspal beton juga dapat dilakukan. Salah satu bahan yang dicoba dimanfaatkan adalah serbuk ban karet. Karena bahan ini mudah di peroleh dengan tidak memakan banyak biaya, namun dibutuhkan proses untuk menjadikan ban karet menjadi serbuk.

Penggunaan ban bekas sebagai bahan tambah (*additive*) aspal telah diteliti oleh *US Department of Transportation Federal Highway Administration* di Amerika sejak tahun 1986. Hasilnya penggunaan ban hasil parutan ban bekas mampu mereduksi kerusakan pada perkerasan lentur yang diakibatkan oleh faktor cuaca dan lalulintas (Sugiyanto, 2008 dikutip dari AASHTO, 1982). Penggunaan parutan ban bekas sangat cocok digunakan pada daerah beriklim panas (Sugiyanto, 2008 dikutip dari Kennedy, 2000). *Road Research Centre*,

Ministry of Public Work di Kuwait menyatakan penambahan 2% latek dan 5% parutan ban bekas terhadap aspal dapat mencegah terjadinya retak-retak, *bleeding* dan memperkecil terjadinya pelepasan butir pada permukaan perkerasan lentur.

Buku referensi ini adalah hasil penelitian yang dilakukan secara Bersama-sama antara Herman Fithra selaku dosen dengan mahasiswa yang dibantu oleh teknisi Laboratorium Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh. Proses editing buku referensi ini, editor berusaha sebaik mungkin menghindari kesalahan-kesalahan. Buku referensi ini diharapkan memberi warna tersendiri sekaligus sebagai bahan literatur dalam mengembangkan material perkerasan jalan.

In syaa Allah, buku ini dapat bermanfaat bagi semua khususnya untuk mahasiswa yang mengambil mata kuliah bahan dan perkerasan jalan. Editor memohon maaf atas segala kekurangan dalam proses editing, jika masih terdapat kesalahan dan kekurangan.

Editor

Ismail, ST., MSM

Daftar Isi

Pengantar Penulis	v
Pengantar Editor.....	vii
Daftar Isi.....	x
Daftar Tabel	xii
Daftar Gambar.....	xiii

BAB I.

PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	7
1.3 Tujuan Penelitian.....	7
1.4 Manfaat penelitian.....	8
1.5 Batasan Masalah.....	8

BAB II.

TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Perkerasan Jalan	9
2.1.1 Jenis Konstruksi Perkerasan Berdasarkan Bahan Ikat	9
2.2 Konstruksi Perkerasan Lentur	10
2.2.1 Jenis Lapisan Pada Perkerasan Lentur	11
2.2.2 Karakteristik Perkerasan Lentur	16
2.3 Material Perkerasan	21
2.3.1 Aspal	21
2.3.2 Agregat	25
2.3.3 Bahan Pengisi (<i>Filler</i>).....	28
2.4 <i>Marshall Test</i>	30
2.5 Sifat Volumetrik dari Beton Aspal Campuran Panas.....	35
2.6 Uji Perendaman (<i>Immersion Test</i>)	41
2.7 Karakteristik Campuran <i>Asphalt Concrete (AC)</i>	41

BAB III.

METODOLOGI PENELITIAN	45
3.1 Bahan Penelitian	45
3.2 Peralatan Penelitian	45
3.3 Perancangan Benda Uji Penelitian.....	46
3.4 Pembuatan Benda Uji.....	50

3.5 Pengujian Benda Uji.....	50
BAB IV.	
HASIL PENELITIAN	53
4.1 Pengujian Bahan.....	53
4.2 Penentuan Kadar Aspal Optimum	54
4.3 Pengujian Perendaman (<i>Durabilitas Test</i>)	58
4.4 Pengujian Penggunaan Serbuk Ban Bekas	59
BAB V.	
PEMBAHASAN	61
5.1 Pengujian Bahan.....	61
5.2 Formula Perancangan Campuran	61
5.3 Karakteristik Penggunaan Serbuk Ban Bekas Campuran AC-BC	74
5.4 Karakteristik Penggunaan Serbuk Ban Bekas Campuran HRS-WC.....	80
BAB VI.	
KESIMPULAN DAN SARAN	87
6.1 Kesimpulan.....	87
6.2. Saran	87
DAFTAR PUSTAKA	89
RIWAYAT PENULIS.....	91

Daftar Tabel

Tabel 2.1	Faktor Luas Permukaan Agregat.....	34
Tabel 2.2	Persyaratan AC Campuran Panas.....	42
Tabel 2.3	Persyaratan HRSCampuran Panas.....	43
Tabel 3.1	Gradasi Agregat Beton Aspal AC-BC	47
Tabel 3.2	Jumlah Benda Uji dalam Penelitian	49
Tabel 4.1	Hasil Pemeriksaan Aspal	53
Tabel 4.2	Hasil Pemeriksaan Agregat.....	54
Tabel 4.3	Hasil parameter Marshall dan sifat volumetrik (AC-BC).....	55
Tabel 4.4	Hasil parameter Marshall dan sifat volumetrik (HRS-WC)	55
Tabel 4.5	Hasil BFT pada KAO (AC-BC)	57
Tabel 4.6	Hasil BFT pada KAO (HRS-WC).....	58
Tabel 4.7	Hasil Pengujian Standar Marshall AC-BC.....	58
Tabel 4.8	Hasil Pengujian Standar Marshall HRS-WC	58
Tabel 4.9	Karakteristik Marshall dan Volumetrik (Serbuk Ban Bekas AC-BC)	59
Tabel 4.10	Karakteristik Marshall dan Volumetrik (Serbuk Ban Bekas HRS-WC).....	60

Daftar Gambar

Gambar 2.1	Distribusi Beban Roda Pada Perkerasan (sumber: wiryanto, 2011).....	10
Gambar 2.2	Struktur Lapisan Perkerasan Lentur (Sumber: Romadhona, 2014).....	11
Gambar 2.3	Proses Pencampuran Retona Blend E-55 (Sumber PT. Olah Bumi Mandiri).....	24
Gambar 2.4	Skematis Berbagai Jenis Volume Beton Aspal.....	35
Gambar 2.5	Ilustrasi Pengertian VMA dan VITM.....	38
Gambar 3.1.	Gradasi Agregat Beton Aspal AC-BC.....	47
Gambar 4.1	Kadar Aspal Optimum AC-BC.....	56
Gambar 5.1	Pengaruh Kadar Aspal Terhadap <i>Density (AC-BC)</i>	63
Gambar 5.2	Pengaruh Kadar Aspal Terhadap <i>Density (HRS-WC)</i>	63
Gambar 5.3	Pengaruh Kadar Aspal Terhadap <i>VMA (AC-BC)</i>	64
Gambar 5.5	Pengaruh Kadar Aspal Terhadap <i>VITM (AC-BC)</i>	66
Gambar 5.6	Pengaruh Kadar Aspal Terhadap <i>VITM (HRS-WC)</i>	67
Gambar 5.7	Pengaruh Kadar Aspal Terhadap <i>VFWA (AC-BC)</i>	68
Gambar 5.8	Pengaruh Kadar Aspal Terhadap <i>VFWA (HRS-WC)</i>	69
Gambar 5.9	Pengaruh Kadar Aspal Terhadap <i>Stability (AC-BC)</i>	70
Gambar 5.10	Pengaruh Kadar Aspal Terhadap <i>Stability (HRS-WC)</i> ..	71
Gambar 5.11	Pengaruh Kadar Aspal Terhadap <i>Flow (AC-BC)</i>	71
Gambar 5.12	Pengaruh Kadar Aspal Terhadap <i>Flow (HRS-WC)</i>	72
Gambar 5.13	Pengaruh Kadar Aspal Terhadap <i>Flow (AC-BC)</i>	73
Gambar 5.14	Pengaruh Kadar Aspal Terhadap <i>Flow (HRS-WC)</i>	74
Gambar 5.15	Nilai <i>Density</i> dengan Variasi Serbuk Ban Bekas.....	75
Gambar 5.16	Nilai <i>VMA</i> dengan Variasi Serbuk Ban Bekas	75

Gambar 5.17 Nilai VITM dengan Variasi Serbuk Ban Bekas.....	76
Gambar 5.18 Nilai VFWA dengan Variasi Serbuk Ban Bekas	77
Gambar 5.19 Nilai <i>Stability</i> dengan Variasi Serbuk Ban Bekas	78
Gambar 5.20 Nilai <i>Flow</i> dengan Variasi Serbuk Ban Bekas	79
Gambar 5.21 Nilai <i>Flow</i> dengan Variasi Serbuk Ban Bekas	80
Gambar 5.22 Nilai <i>Density</i> dengan Variasi Serbuk Ban Karet.....	81
Gambar 5.23 Nilai VMA dengan Variasi Serbuk Ban Karet.....	81
Gambar 5.24 Nilai VITM dengan Variasi Serbuk Ban Karet.....	82
Gambar 5.25 Nilai VFWA dengan Variasi Serbuk Ban Karet.....	83
Gambar 5.26 Nilai <i>Stability</i> dengan Variasi Serbuk Ban Karet.....	84
Gambar 5.27 Nilai <i>Flow</i> dengan Variasi Serbuk Ban Karet.....	85
Gambar 5.28 Nilai MQ dengan Variasi Serbuk Ban Karet.....	86

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Konstruksi lapisan perkerasan jalan raya berdasarkan bahan ikat yang dipakai dan komposisi terdiri dari perkerasan lentur (*flexible pavement*) dan perkerasan kaku (*rigid pavement*). Perkerasan lentur menggunakan aspal sebagai bahan pengikat agregat. Aspal merupakan material berwarna hitam, yang mempunyai tekstur padat maupun setengah padat. Unsur yang menonjol dalam aspal adalah bitumen yang berasal dari penyulingan minyak bumi ataupun terdapat secara alami di bumi.

Dalam penggunaannya aspal dipanaskan terlebih dahulu sampai pada temperatur tertentu sampai menjadi cair. Dalam keadaan cair, aspal dapat membungkus partikel-partikel agregat dan dapat masuk ke pori-pori lapisan campuran aspal. Pada saat temperatur aspal turun, aspal akan menjadi keras dan mengikat partikel-partikel agregat ditempatnya.

Jenis perkerasan ini dapat ditemukan dengan mudah diberbagai lokasi jalan yang ada di Indonesia. Jalan-jalan di perkotaan sampai dengan jalan dipedesaan menggunakan jenis ini. Baik jalan arteri, jalan kolektor, jalan lokal, maupun jalan dikawan industri dan jalan tol menggunakan perkerasan lentur.

Jenis aspal yang digunakan pada perkerasan lentur jalan raya di Indonesia umumnya adalah jenis aspal keras dengan penetrasi 60/70 atau 80/100. Pertimbangannya karena aspal keras lebih sesuai digunakan di Indonesia yang beriklim tropis. Jalan-jalan yang berada di daerah beriklim dingin dan memiliki volume lalu lintas rendah, jenis aspal yang cocok digunakan adalah aspal dengan penetrasi 100/110.

Jenis perkerasan lentur memiliki sifat memikul dan menyebarkan beban repetisi lalu lintas ke bagian tanah dasar. Penggunaan perkerasan lentur berpotensi timbulnya alur bekas ban kendaraan (*rutting*) pada saat terjadi pengulangan beban atau kelebihan beban minimal. Potensi jalan bergelombang juga sangat mungkin terjadi, akibat dari penurunan tanah dasar. Ini adalah dua

jenis utama kerusakan pada perkerasan lentur di samping adanya retakan (*crack*). Ada enambelas jenis kerusakan pada perkerasan lentur.

Perkerasan kaku menggunakan semen sebagai bahan pengikat partikel-partikel agregat. Semen yang digunakan adalah jenis semen portland (PC). Di Indonesia, jalan raya dengan jenis konstruksi perkerasan kaku lebih dikenal dengan nama jalan beton. Pada konstruksi ini, lapisan atas adalah pelat beton yang diposisikan di atas tanah dasar atau pondasi. Adapun sifat lapisan utama yang berupa plat beton adalah memikul sebagian besar beban repetisi lalu lintas di atasnya. Bila terjadi pengulangan beban, maka akibatnya akan timbul retak-retak di permukaan perkerasan jalan.

Perkerasan kaku dapat dikelompokkan kedalam 3 (tiga) jenis yaitu, perkerasan beton semen biasa dengan sambungan tanpa menggunakan tulangan sebagai kendali retak, perkerasan beton semen biasa dengan sambungan memakai tulangan sebagai kendali retak dan jenis perkerasan beton bertulang tanpa sambungan.

Konstruksi perkerasan kaku atau jalan beton, biasanya diterapkan untuk jalan dengan beban repetisi lalu lintas yang tinggi dan lingkungan dengan curah hujan tinggi atau kandungan air tanahnya tinggi, misalnya untuk jalan tol atau jalan dikawan industri. Konstruksi jalan dengan perkerasan kaku, memiliki kelebihan yakni lebih tahan lama dan biaya perbaikan relatif lebih rendah. Tetapi, pengguna jalan merasa lebih nyaman menggunakan jalan beraspal dibandingkan dengan jalan beton.

Selain perkerasan lentur dan perkerasan kaku, gabungan diantara kedua material tersebut dinamakan jenis konstruksi perkerasan komposit (*composite pavement*). Jenis konstruksi ini, berupa lapisan perkerasan lentur berada di atas perkerasan kaku ataupun sebaliknya, dimana lapisan perkerasan kaku berada di atas perkerasan lentur. Selain itu, dapat juga berupa pasta semen yang dimasukkan kedalam campuran aspal.

Menentukan jenis perkerasan jalan yang akan digunakan dalam pelaksanaan konstruksi perkerasan jalan raya, ditentukan oleh besarnya anggaran yang tersedia, umur rencana, beban repetisi lalu lintas, lingkungan sekitar jalan dan desain geometrik jalan raya.

Pemilihan konstruksi perkerasan jalan raya yang sesuai dengan bebannya sangat menentukan umur pelayanan dan keawetannya.

Jenis perkerasan lentur yang umum dipakai di Indonesia adalah aspal beton (*asphalt concrete, AC*) yang disebut juga dengan lapisan aspal beton (*laston*) merupakan lapisan permukaan struktural atau lapis pondasi atas. Aspal beton terdiri dari tiga macam lapisan, yaitu lapisan aus (*asphalt concrete-wearing course* atau *AC-WC*), lapisan permukaan antara (*asphalt concrete-binder course* atau *AC-BC*) dan lapisan pondasi (*asphalt concrete-base* atau *AC-Base*).

Selain lapisan aspal beton ada juga lapisan tipis aspal beton (*lataston*) atau *Hot Rolled Sheet (HRS)*. *Lataston* merupakan salah satu lapis perkerasan jalan raya yang terdiri dari campuran aspal keras, agregat dengan gradasi timpang dan bahan pengisi (*filler*) yang dicampurkan, dihamparkan dan dipadatkan pada temperatur 110°C dengan ketebalan 3 cm. Konstruksi perkerasan jalan dengan HRS terdiri dari dua macam lapisan, yaitu HRS yang digunakan sebagai lapis aus (*HRS-WC*) dan HRS untuk lapis pondasi (*HRS-BC*). *HRS-WC* adalah jenis perkerasan HRS yang digunakan sebagai lapis aus permukaan aspal. *HRS-WC* berfungsi sebagai lapisan kedap air, tahan terhadap terbentuknya alur, mempunyai kehalusan permukaan, mampu menyalurkan beban, dan mempunyai tahanan gelincir. Lapis ini bersinggungan langsung dengan roda kendaraan dan cuaca sehingga mudah mengalami aus. Proses penguapan dan penuaan sebagian fraksi aspal akibat pengaruh cuaca turut serta menyebabkan retak di bagian permukaan. Oleh karenanya, lapis aus harus direncanakan memiliki stabilitas, kelenturan, keawetan dan ketahanan yang baik. Struktur HRS terdiri dari campuran agregat kasar, agregat halus, filler serta bahan pengikat berupa aspal campuran panas. Kandungan aspal yang relatif tinggi pada campuran bertujuan untuk meningkatkan fleksibilitas, keawetan, dan ketahanan terhadap kelelahan serta tidak mudah retak.

Selain lapisan aspal beton (*laston*) dan lapisan tipis aspal beton (*lataston*) dikenal juga *Split Mastic Asphalt (SMA)* yang merupakan aspal beton campuran panas bergradasi terbuka, yang terdiri dari campuran agregat (*split*) yang merupakan agregat gradasi kasar dengan ukuran >2 mm dengan fraksi yang besar, yaitu sebesar 75 %. *Mastic Asphalt (SMA)*, adalah bahan pengikat yang merupakan

campuran antara agregat halus dengan aspal dengan kadar yang relative tinggi. Bahan tambahan, adalah berupa serat *selulose* yang berfungsi menstabilkan aspal (memberikan sifat-sifat aspal minyak). *SMA* adalah suatu system perkerasan jalan raya yang memaksimalakan interaksi dan kontak antara fraksi kasar dalam campuran perkerasan. Fraksi agregat kasar mempunyai nilai stabilitas yang tinggi dan tahan terhadap gaya geser dari campuran, sedangkan campuran fraksi halus menjadi mastic untuk menyatukan batuan tersebut. *SMA* yang nantinya ditambahkan *selulose* akan menjadikan system perkerasan jalan raya *heavy loaded* yaitu konstruksi jalan raya yang selalu menerima beban-beban berat.

Pada kondisi tertentu selain Laston, Lataston dan *SMA*, campuran lainnya yang sering dipakai di Indonesia adalah sebagai berikut:

1. Lapisan Penetrasi Makadam (LAPEN)

Merupakan campuran agregat dan aspal dengan gradasi terbuka dan seragam yang diikat dengan aspal dengan cara disemprotkan diatasnya dan dipadatkan lapis demi lapis. Campuran ini biasanya dipakai untuk lapis pondasi, bila sebagai lapis permukaan perlu laburan aspal dan agregat penutup. Campuran ini kurang kedap air, memiliki nilai struktural, cukup kenyal dan kekuatan utamanya adalah interlocking antara agregat pokok dan pengunci untuk lalu lintas ringan sampai dengan sedang. Proses konstruksinya adalah segregasi/pencampuran dilakukan saat penghamparan.

2. Lapis Tipis Aspal Pasir (LATASIR)

Merupakan campuran pasir bergradasi menerus dan aspal yang dicampur pada suhu minimum 120°C dan dipadatkan pada suhu minimum 98°C - 110°C. Fungsi sebagai lapis penutup, lapis aus serta memberikan permukaan rata dan tidak licin. Bersifat kedap air, kenyal, tidak memiliki nilai struktural, tahan terhadap aus karena beban lalu lintas dan cuaca. Campuran ini merupakan campuran pra campur dengan *hotmix* yang cocok untuk lalu lintas ringan sampai sedang.

3. Lapuran Aspal (BURAS)

Campuran yang terdiri dari aspal taburan pasir dengan ukuran maksimum 3/8". Fungsinya sebagai penutup yang menjaga permukaan agar tidak berdebu, kedap air, tidak licin dan mencegah lepasnya butiran halus. Campuran ini tidak memiliki nilai struktural dan digunakan pada jalan yang belum atau sudah beraspal dengan kondisi yang telah stabil, mulai retak atau degradasi, serta dapat digunakan lalu lintas berat.

4. Laburan Aspal Satu Lapis (BURTU)

Sama dengan buras tetapi dengan satu laburan satu lapisan agregat bergradasi seragam tebal 20 mm.

5. Laburan Aspal 2 Lapis (BURDA)

Merupakan pengembangan BURTU, dimana lapisan aspal ditaburi agregat dan dikerjakan 2 kali secara berurutan dengan tebal maksimum 35 mm.

6. Lapis Asbuton Campuran Dingin (LASBUTAG)

Jenis ini terdiri dari agregat, asbuton dan bahan peremaja yang dicampur, diaduk, diperam dan dihampar serta dipadatkan dalam keadaan dingin. Fungsinya sebagai lapis permukaan, lapis aus, melindungi lapisan bawahnya dari cuaca dan air, mendukung lalu lintas dan permukaan rata tidak licin. Campuran ini memiliki nilai struktural dan kenyal serta dipakai untuk jalan lama maupun baru dengan kepadatan maksimum 12%, R min 15 m dan lalu lintas sedang. Pada LASBUTAG konvensional digunakan asbuton lolos saringan 1/2" dengan waktu peram 3 x 24 jam.

7. Lapis Tipis Asbuton Murni (LATASBUM)

Pengembangan dan asbuton dengan mengekstraksinya untuk mendapatkan aspal murni yang dapat berfungsi seperti aspal minyak dengan campuran bahan peremaja pada suhu kamar. Dengan tebal padat maksimum 1 cm berfungsi sebagai garis penutup yang kedap air, kenyal, cukup awet dan tidak bernilai struktural.

Negara Indonesia adalah negara kepulauan yang terdiri dari beribu-ribu pulau yang tersebar dari Sabang sampai Merauke yang terletak di garis khatulistiwa, sehingga hanya mempunyai dua musim, yaitu musim penghujan dan musim kemarau. Pada musim penghujan menyebabkan banjir yang mengenai semua yang ada, perumahan, perkebunan, sawah, sekolah, infrastruktur dan lain sebagainya. Sementara pada musim kemarau temperatur sangat tinggi mengakibatkan kekeringan dan dapat merusak infrastruktur yang ada.

Perubahan cuaca yang ekstrem menyebabkan terganggunya infrastruktur yang ada, salah satunya adalah rusaknya infrastruktur jalan atau mempercepat penurunan usia layanan infrastruktur jalan. Sehingga hal ini harus dapat diantisipasi dengan membangun infrastruktur jalan yang lebih tahan terhadap perubahan cuaca yang ekstrem.

Konstruksi perkerasan jalan di Indonesia sebahagian besar merupakan konstruksi lapisan perkerasan lentur, dimana aspal berfungsi sebagai bahan pengikat agregat. Aspal hanya berkisar antara 4-6% berdasarkan berat dan 8-12% berdasarkan volume dari campuran antara agregat dan aspal. Sehingga kualitas aspal sangat menentukan keawetan dari suatu perkerasan lentur.

Aspal yang berasal dari residu minyak bumi semakin hari semakin menipis persediaannya dengan harga yang cenderung terus naik, sehingga dibutuhkan bahan lain yang dapat menaikkan kualitas aspal dan perkerasan lentur. Salah satu bahan yang dicoba dimanfaatkan adalah serbuk ban karet. Karena bahan ini mudah di peroleh dengan tidak memakan banyak biaya, namun dibutuhkan proses untuk menjadikan ban karet menjadi serbuk.

Penggunaan ban bekas sebagai bahan tambah (*additive*) aspal telah diteliti oleh *US Department of Transportation Federal Highway Administration* di Amerika sejak tahun 1986. Hasilnya penggunaan ban hasil parutan ban bekas mampu mereduksi kerusakan pada perkerasan lentur yang diakibatkan oleh faktor cuaca dan lalulintas (Sugiyanto, 2008 dikutip dari AASHTO, 1982). Penggunaan parutan ban bekas sangat cocok digunakan pada daerah beriklim panas (Sugiyanto, 2008 dikutip dari Kennedy, 2000). *Road Research Centre, Ministry of Public Work* di Kuwait menyatakan penambahan 2% latek

dan 5% parutan ban bekas terhadap aspal dapat mencegah terjadinya retak-retak, *bleeding* dan memperkecil terjadinya pelepasan butir pada permukaan perkerasan lentur.

Berdasarkan uraian diatas, maka peneliti tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul “Studi Karakteristik Penggunaan Serbuk Ban Bekas (Perkerasan AC dan HRS)”. Penelitian ini diharapkan dapat mengetahui karakteristik dari penggunaan serbuk ban bekas pada kadaraspal optimum (KAO) berdasarkan parameter Marshall, sehingga dapat memberikan hasil yang baik untuk perkerasan lentur dimasa yang akan datang.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka dapat dibuat rumusan masalah dalam studi karakteristik penggunaan serbuk ban bekas AC dan HRS pada perkerasan lentur sebagai berikut:

1. Bagaimana perbandingan nilai *Marshall Test* saat penambahan serbuk ban bekas dalam campuran Laston;
2. Bagaimana perbandingan nilai *Marshall Test* saat penambahan serbuk ban bekas dalam campuran Lataston;
3. Bagaimana nilai volumetrik saat penambahan serbuk ban bekas dalam campuran Laston;
4. Bagaimana nilai volumetrik saat penambahan serbuk ban bekas dalam campuran Lataston.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan diatas, maka tujuan dari penelitian “Studi Karakteristik Penggunaan Serbuk Ban Bekas (Perkerasan AC dan HRS)” adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui perbandingan nilai *Marshall Test* saat penambahan serbuk ban bekas dalam campuran Laston;
2. Mengetahui perbandingan nilai *Marshall Test* saat penambahan serbuk ban bekas dalam campuran Lataston;
3. Mengetahui nilai volumetrik saat penambahan serbuk ban bekas dalam campuran Laston;

4. Mengetahui nilai volumetrik saat penambahan serbuk ban bekas dalam campuran Lataston.

1.4 Manfaat penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebesar-besarnya kepada semua pihak yang terlibat dalam pelaksanaan pembangunan konstruksi perkerasan jalan, adik-adik mahasiswa, praktisi dan masyarakat secara luas. Manfaat yang diharapkan meliputi hal-hal sebagai berikut:

1. Mendapatkan informasi penggunaan material ban bekas sebagai bahan tambah pengganti agregat halus;
2. Mendapatkan informasi penggunaan ban bekas dapat mengurangi penggunaan agregat halus;
3. Mendapatkan informasi besaran stabilitas dan pengaruhnya terhadap deformasi permanen;
4. Mendapatkan informasi seberapa banyak ban bekas dapat digunakan sebagai pengganti agregat halus.

1.5 Batasan Masalah

Penelitian ini hanya dibatasi pada analisis besaran persentase karet ban bekas yang dapat digunakan dalam campuran AC dan HRS dengan parameter *Marshall Test*. Material agregat berasal dari sungai Krueng Meuh kabupaten Aceh Utara dan pemeriksaan laboratorium di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Malikussaleh.

•

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan adalah bagian jalan raya yang diperkeras dengan agregat dan aspal atau semen (*Portland Cement*) sebagai bahan pengikat partikel-partikel agregat. Sehingga pengelompokkan jenis konstruksi perkerasan jalan ditentukan berdasarkan bahan ikatnya.

Konstruksi perkerasan jalan memiliki ketebalan, kekuatan, dan kekakuan, serta kestabilan tertentu agar mampu menyalurkan beban lalu lintas di atasnya ke tanah dasar secara aman. Fungsi utama dari konstruksi perkerasan jalan adalah untuk menyebarkan atau mendistribusikan beban roda ke area permukaan tanah-dasar (*sub-grade*) yang lebih luas dibandingkan luas kontak roda dengan konstruksi perkerasan jalan, sehingga mereduksi tegangan maksimum yang terjadi pada tanah-dasar.

Konstruksi perkerasan jalan harus memiliki kekuatan dalam menopang beban lalu lintas. Permukaan pada perkerasan haruslah rata tetapi harus mempunyai kekesatan atau tahanan gelincir (*skid resistance*) di permukaan perkerasan. Perkerasan dibuat dari berbagai pertimbangan, seperti persyaratan struktur, ekonomis, keawetan, kemudahan, dan pengalaman.

2.1.1 Jenis Konstruksi Perkerasan Berdasarkan Bahan Ikat

Bahan ikat atau material pengikat partikel-partikel agregat membedakan jenis konstruksi perkerasan jalan. Jenis konstruksi perkerasan jalan tersebut adalah sebagai berikut.

1. Konstruksi perkerasan lentur (*Flexible Pavement*), yaitu perkerasan yang menggunakan aspal (*bitumen*) sebagai bahan pengikat. Lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas.
2. Konstruksi perkerasan kaku (*Rigid Pavement*), yaitu perkerasan yang menggunakan semen (*Portland Cement*) sebagai bahan pengikat. Pelat beton dengan atau tanpa tulangan diletakkan di atas tanah dasar dengan atau tanpa lapis

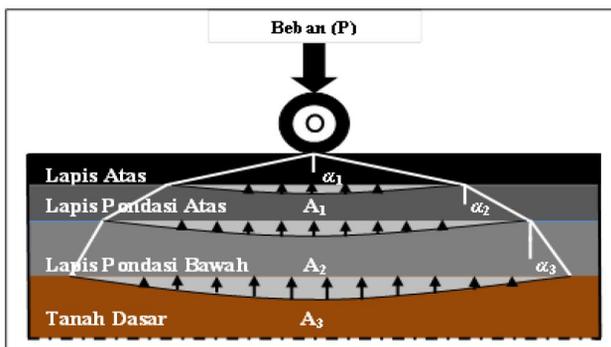
pondasi bawah. Beban lalu lintas sebagian besar dipikul oleh pelat beton.

3. Kontruksi perkerasan komposit (*Composite Pavement*), yaitu perkerasan kaku yang dikombinasikan dengan perkerasan lentur dapat berupa perkerasan lentur di atas perkerasan kaku atau perkerasan di atas perkerasan lentur yang ada di lapangan.

2.2 Konstruksi Perkerasan Lentur

Perkerasan lentur merupakan campuran agregat batu pecah, pasir, material pengisi (*filler*), dan aspal yang kemudian dihamparkan lalu dipadatkan. Perkerasan lentur dirancang untuk melendut dan kembali lagi ke posisi semula bersama-sama dengan tanah-dasar pada saat menerima beban. Perancangan perkerasan lentur didasarkan pada teori elastis dan pegalaman lapangan. Teori elastis pada perkerasan sendiri untuk menganalisis regangan dalam setiap lapisan agar defleksi permanen tidak terjadi (Christiady, 2011).

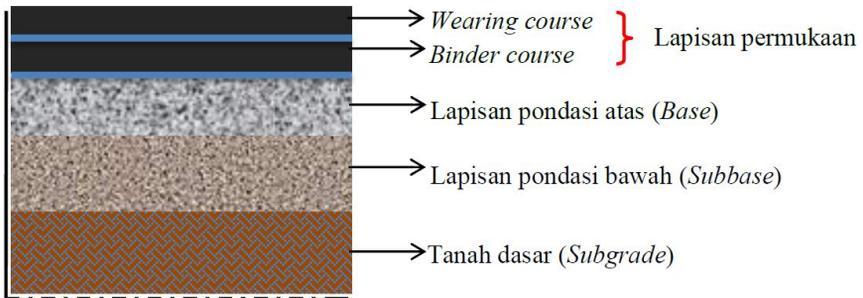
Sesuai dengan konsep perkerasan lentur, perkerasan ini akan melendut/ melentur bila diberikan beban. Karena sifat penyebaran gaya maka muatan yang diterima oleh masing-masing lapisan berbeda dan semakin kebawah semakin kecil. Gaya yang di terima masing-masing lapisan berbeda-beda dan akan semakin kecil. Lapisan permukaan harus mampu menerima seluruh jenis gaya yang bekerja, lapis pondasi atas menerima gaya vertikal dan getaran, sedangkan tanah dasar akan menerima gaya vertikal saja (Sukirman, 1999). Seperti pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 2.1 Distribusi Beban Roda Pada Perkerasan (sumber: wiryanto, 2011)

2.2.1 Jenis Lapisan Pada Perkerasan Lentur

Struktur perkerasan jalan terdiri dari beberapa lapis material yang diletakkan pada tanah dasar. Komponen material tersebut akan memberikan sokongan penting dari kapasitas struktur perkerasan (Christiady, 2011). Untuk mendapatkan kekuatan struktur perkerasan yang optimal dan ekonomis, maka struktur perkerasan dibuat berlapis-lapis berdasarkan besar beban yang diterima dari roda kendaraan sampai ketanah dasar. Setiap lapis pada perkerasan mempunyai fungsi yang berbeda-beda. Setiap lapisan juga harus dapat mendistribusikan beban sampai kebawah, jika salah satu lapisan tidak bias mendistribusikan beban dengan baik, maka akan merusak lapisan yang lain. Lapisan paling atas terdiri dari 2 (dua) lapisan, yaitu: *wearing course* dan *binder course*. Lapisan pondasi atas (*base course*), lapisan pondasi bawah (*subbase course*), dan tanah dasar (*subgrade*). Gambar 3.2 adalah gambar dari lapis perkerasan lentur.



Gambar 2.2 Struktur Lapisan Perkerasan Lentur
(Sumber: Romadhona, 2014)

Lapisan permukaan adalah bagian dari struktur perkerasan jalan yang terletak paling atas (Sukirman, 1999). Mempunyai peran fungsional dan structural sebagai berikut:

Lapisan perkerasan penahan beban roda, lapisan ini mempunyai stabilitas tinggi untuk menahan beban roda selama masa pelayanan;

- a. Sebagai lapisan kedap air, sehingga air hujan yang jatuh di atasnya tidak meresap ke lapisan bawahnya dan melemahkan lapisan-lapisan tersebut;

- b. Sebagai lapisan aus (*wearing course*), lapisan yang langsung menerima gesekan akibat rem kendaraan, sehingga mudah menjadi aus;
- c. Lapisan yang menyebarkan beban kelapisan bawah, sehingga dapat dipikul oleh lapisan lain yang mempunyai daya dukung yang lebih jelek;

Lapisan permukaan itu sendiri masih dapat dibagi lagi menjadi dua lapisan, yaitu:

- 1) Lapisan aus (*wearing course*) merupakan bagian dari lapisan permukaan yang terletak diatas lapisan antara (*binder course*). Fungsi lapisan aus adalah :
 - a) Mengamankan perkerasan dari pengaruh air;
 - b) Menyediakan permukaan jalan yang halus;
 - c) Menyediakan permukaan jalan yang kesat.
- 2) Lapisan antara (*binder course*) merupakan bagian dari lapisan permukaan yang terletak diantara lapisan pondasi atas (*base course*) dengan lapisan aus (*wearing course*). Fungsi dari lapisan antara adalah :
 - a) Mengurangi tegangan;
 - b) Menahan beban yang paling tinggi akibat beban lalu lintas sehingga harus mempunyai kekuatan yang cukup.
- 3) Lapisan pondasi atas (*base course*) adalah bagian perkerasan yang terletak antara lapisan pondasi bawah dan lapisan permukaan. Mempunyai fungsi sebagai:
 - a) Sebagai lapisan pendukung bagi lapisan permukaan;
 - b) Bagian perkerasan yang menahan gaya dari beban roda dan menyebarkan kelapisan bawahnya;
 - c) Sebagai lapisan peresapan untuk pondasi bawah;
 - d) Memberikan bantalan terhadap lapisan permukaan (pikul beban horizontal dan vertikal).
- 4) Lapisan pondasi bawah (*subbase course*) adalah bagian perkerasan yang terletak antara lapisan pondasi atas dan tanah dasar. Mempunyai fungsi sebagai:

- a) Bagian dari konstruksi perkerasan menyebarkan beban roda ketanah dasar;
 - b) Mengurangi tebal lapisan di atasnya yang lebih mahal;
 - c) Efisiensi penggunaan material;
 - d) Material pondasi bawah lebih relative murah dibandingkan yang berada di atasnya;
 - e) Lapisan untuk mencegah partikel-partikel halus dari tanah dasar kelapisan atas;
 - f) Sebagai lapisan peresapan agar air tanah tidak mengumpul di pondasi maupun di tanah dasar;
 - g) Sebagai lapisan pertama agar pelaksanaan pekerjaan dapat berjalan dengan lancar.
- 5) Tanah dasar (*subgrade*) adalah permukaan tanah semula atau tanah asli, permukaan tanah galian atau permukaan tanah timbun yang dipadatkan dan merupakan permukaan tanah dasar untuk perletakan bagian-bagian perkerasan lainnya. Pemadatan yang baik diperoleh jika dilakukan pada kadar air optimum dan diusahakan kadar air tersebut konstan selama umur rencana. Hal ini dapat dicapai dengan perlengkapan dan system drainase yang memenuhi syarat (Sukirman, 1999). Beban kendaraan yang dilimpahkan kelapisan perkerasan melalui roda-roda kendaraan selanjutnya disebarkan kelapisan-lapisan dibawahnya dan terakhir diterima oleh tanah dasar. Kekuatan dan keawetan maupun tebal dari lapisan konstruksi perkerasan jalan sangat tergantung dari sifat-sifat dan daya dukung tanah dasar ini.

Jenis lapisan pada perkerasan lentur yang dikenal di Indonesia dan sudah umum dipakai adalah sebagai berikut:

1. Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC)

AC-WC merupakan lapisan perkerasan yang terletak paling atas dan berfungsi sebagai lapisan aus. Walaupun bersifat non struktural, *AC-WC* dapat menambah daya tahan perkerasan terhadap penurunan mutu, sehingga secara keseluruhan menambah masa pelayanan dari konstruksi perkerasan. *AC-WC*

mempunyai tekstur yang paling halus dibandingkan dengan aspal beton lainnya.

2. Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC)

Lapisan ini merupakan lapisan perkerasan yang terletak dibawah lapisan aus (*wearing course*) dan diatas lapisan pondasi (*base course*). Lapisan ini tidak berhubungan langsung dengan cuaca, tetapi harus mempunyai ketebalan dan kekakuan yang cukup untuk mengurangi tegangan/regangan akibat beban lalu lintas yang diteruskan kelapisan dibawahnya yaitu *base* dan tanah dasar (*subgrade*). Karakteristik yang terpenting pada campuran ini adalah stabilitas.

3. Asphalt Concrete – Base Course (AC-Base)

Lapisan pondasi (*AC-Base*) merupakan pondasi perkerasan yang terdiri dari campuran agregat dan aspal dengan perbandingan tertentu dicampur dipadatkan dalam keadaan panas. Lapisan ini terletak dibawah lapisan pengikat (*AC-BC*), perkerasan tersebut tidak berhubungan secara langsung dengan cuaca, tetapi perlu memiliki stabilitas untuk menahan beban lalu lintas yang disebarkan melalui roda kendaraan. Lapisan pondasi (*AC-Base*) berfungsi untuk member dukungan lapisan permukaan, mengurangi regangan dan tegangan, menyebarkan dan meneruskan beban konstruksi jalan dibawahnya (*subgrade*).

4. Hot Rolled Sheet – Wearing Course (HRS-WC)

HRS-WC berfungsi sebagai lapisan kedap air, tahan terhadap terbentuknya alur, mempunyai kehalusan permukaan, mampu menyalurkan beban dan mempunyai tahanan gelincir. Lapisan ini bersinggungan langsung dengan roda kendaraan dan cuaca, sehingga mudah mengalami aus. Proses penguapan dan penuaan sebagian fraksi aspal akibat pengaruh cuaca turut serta menyebabkan retak dibagian permukaan. Oleh karenanya, lapis aus harus direncanakan memiliki stabilitas, kelenturan, keawetan dan ketahanan yang baik. Struktur HRS terdiri dari campuran agregat kasar, agregat halus, *filler* serta bahan pengikat berupa aspal campuran panas. Kandungan

aspal yang relative tinggi pada campuran bertujuan untuk meningkatkan fleksibilitas, keawetan dan ketahanan terhadap kelelahan serta tidak mudah retak.

5. **Hot Rolled Sheet- Base (HR-Base)**

Perbedaan antara *HRS-WC* dengan *HRS-Base* adalah pada gradasi agregat yang digunakan, beban lalu lintas dan segi pemakaian. Jenis agregat yang digunakan terdiri dari agregat kasar, agregat halus dan butiran pengisi (*filler*), sedangkan aspal yang digunakan biasanya jenis aspal keras AC 60-70 dan AC 80-100. *HRS* bersifat lentur dan mempunyai durabilitas yang tinggi, hal ini disebabkan campuran *HRS* dengan gradasi timpang mempunyai rongga dalam campuran yang cukup besar, sehingga mampu menyerap jumlah aspal dalam jumlah banyak (7%-8%) tanpa terjadi *bleeding*. Selain itu, *HRS* mudah dipadatkan sehingga lapisan yang dihasilkan mempunyai kedekatan terhadap air dan udara tinggi. Gradasi senjang dapat diperoleh dengan mencampurkan pasir halus dengan agregat pecah mesin. Batas bahan bergradasi senjang terletak diantara bahan yang lolos saringan No. 8 (2,36 mm) tetapi tertahan saringan No. 30 (0,600 mm), yang menggunakan suatu campuran agregat kasar dan agregat halus.

6. **Split Mastic Asphalt (SMA)**

SMA adalah salah satu jenis aspal beton campuran panas (*hot mix*) bergradasi terbuka, yang terdiri dari campuran agregat (*split*) yang merupakan agregat gradasi kasar dengan ukuran > 2 mm dan dengan fraksi yang besar, yaitu sebesar 75 %. *Mastic Asphalt* (*SMA*) berupa bahan pengikat yang merupakan campuran antara agregat halus dengan aspal dengan kadar yang relatif tinggi dengan bahan tambahan berupa serat *cellulose* yang berfungsi menstabilkan aspal. *SMA* adalah suatu sistem perkerasan jalan raya yang memaksimalkan interaksi dan kontak antara fraksi kasar dalam campuran perkerasan. Fraksi agregat kasar mempunyai nilai stabilitas yang tinggi dan tahan terhadap gaya geser dari campuran, sedangkan campuran fraksi halus menjadi *mastic* untuk menyatukan batuan tersebut. *SMA* yang nantinya ditambahkan *cellulose*

akan menjadikan sistem perkerasan jalan raya *heavy loaded* yaitu konstruksi jalan raya yang selalu meneri beban-beban berat. SMA mempunyai sifat-sifat diantaranya adalah tahan terhadap oksidasi, dantebal lapisan film aspal aspal 10 μm . Tahan terhadap deformasi permanen pada temperatur tinggi dan nilai stabilitas dinamis adalah > 1.500 lintasan/mm (600C, 4 kg/cm²). Fleksibilitas atau lentur, dengan *Marshall Quotient* antara 190 – 300 kg/mm (*stabilitas flow*).Tahan terhadap cuaca panas atau temperatur tinggi, harga titik lembek (*asphalt + sellulose*) adalah > 600°C. Kedap air, dengan rongga udara antara 3%-5%, index perendaman adalah 75% (600C, 48 jam). Aman untuk lalulintas karena kesat dengan nilai kekesatan > 0,60.Tingkat keseragaman campurannya tinggi.

SMA ukurannya dibedakan menjadi 3 (tiga) tipe, yaitu SMA 0/11 mm adalah digunakan untuk perkerasan jalan raya yang baru. SMA 0/8 mm adalah digunakan untuk pelapisan ulang (*overlay*) pada jalan lama.SMA 0/5 mm adalah digunakan untuk pemeliharaan dan perbaikan setempat seperti perbaikan deformasi pada jalur roda (*rutting*) akibat konsentrasi muatan pada satu tempat *Whell Tracking*. Kelebihan SMA adalah mempunyai permukaan yang kesat dan homogen, sehingga *friction* lebih tinggi dan aman, terutama untuk lalulintas luar kota yang mempunyai kecepatan relatif tinggi. Bahan tambahan serat *sellulose* akan lebih tahan terhadap *bleeding* dan tahan terhadap pembebanan dengan lalulintas yang cukup berat. Akibat kadar aspal yang lebih tinggi maka akan lebih tahan terhadap sinar ultraviolet atau oksidasi, sehingga umur rencana diharapkan lebih lama. Lebih fleksibel terhadap *fatigue* atau dasar yang kurang mantap.

2.2.2 Karakteristik Perkerasan Lentur

Karakteristik perkerasan lentur merupakan sifat khusus perkerasan yang dapat menentukan baik buruknya kualitas dari perkerasan. Karakteristik perkerasan yang baik adalah perkerasan yang dapat memberikan pelayanan terhadap lalulintas yang direncanakan, baik berupa kekuatan, keawetan dan kenyamanan. Karakteristik tidak terlepas dari kualitas bahan penyusunnya,

terutama pada saat proses pembuatan campuran di AMP, pengantaran di jalan dan penghamparan dilokasi tempat konstruksi perkerasan jalan dibuat. Karakteristik yang harus dimiliki oleh perkerasan lentur adalah :

1. Stabilitas (*stability*)

Stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur, dan *bleeding*. Kebutuhan akan stabilitas sebanding dengan fungsi jalan dan beban lalu lintas yang akan dilayani. Jalan yang melayani volume lalu lintas tinggi dan dominan terdiri dari kendaraan berat, membutuhkan perkerasan jalan dengan stabilitas tinggi. Sebaliknya perkerasan jalan yang diperuntukkan untuk melayani lalu lintas kendaraan ringan tertentu tidak perlu mempunyai nilai stabilitas yang tinggi. Nilai stabilitas beton aspal dipengaruhi oleh:

a. Gesekan internal

Gesekan internal dapat berasal dari kekasaran permukaan dari butir-butir agregat, luas bidang kontak antar butir atau bentuk butir, gradasi agregat, kepadatan campuran, dan tebal film aspal. Stabilitas terbentuk dari kondisi gesekan internal yang terjadi diantara butir-butir agregat, saling mengunci dan mengisinya butir-butir agregat, dan masing-masing butir saling terikat, akibat gesekan antar butir dan adanya aspal. Kepadatan campuran menentukan pula tekanan kontak, dan nilai stabilitas campuran. Pemilihan agregat bergradasi baik atau rapat akan memperkecil rongga antara agregat, sehingga aspal yang dapat ditambahkan dalam campuran menjadi sedikit. Hal ini berakibat film aspal menjadi tipis. Kadar aspal yang optimal akan memberikan nilai stabilitas yang maksimum.

b. Kohesi

Kohesi adalah gaya ikat aspal yang berasal dari daya lekatnya, sehingga mampu memelihara tekanan kontak antar butir agregat. Daya kohesi terutama ditentukan oleh penetrasi aspal, perubahan viskositas akibat temperatur, tingkat pembebanan, komposisi kimiawi aspal, efek dari waktu dan umur aspal. Sifat

rheologi aspal menentukan kepekaan aspal untuk mengeras dan rapuh, yang akan mengurangi daya kohesinya.

2. Durabilitas (*durability*)

Durabilitas atau keawetan adalah kemampuan beton aspal mempertahankan sifat asalnya akibat menerima repetisi beban lalu lintas seperti berat kendaraan dan gesekan antara roda kendaraan dan permukaan jalan, serta menahan keausan akibat pengaruh cuaca dan iklim, seperti udara, air, atau perubahan temperatur. Sifat ini merupakan sifat dari campuran aspal, jadi tergantung dari sifat agregat, campuran dengan aspal, faktor pelaksanaan dan lain sebagainya. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi durabilitas adalah :

- a. Film aspal yang tebal dapat menghasilkan lapisan aspal beton yang berdurabilitas tinggi, tetapi kemungkinan potensi terjadinya *bleeding* menjadi besar.
- b. VIM (*Voids in Mix*) kecil sehingga lapisan menjadi kedap air dan udara tidak masuk ke dalam campuran.
- c. VMA (*Void in Mineral Aggregate*) besar sehingga film aspal dapat dibuat tebal. Jika VMA dan VITM kecil serta kadar aspal tinggi maka kemungkinan terjadinya *bleeding* cukup besar. Untuk mencapai VMA yang besar ini dipergunakan agregat bergradasi senjang.
- d. Jika VMA dan VIM dibuat kecil serta kadar aspal tinggi maka kemungkinan terjadinya *bleeding* cukup besar.

3. Kekesatan (*skid resistance*)

Kekesatan atau tahanan geser (*skid resistance*) adalah kemampuan permukaan beton aspal terutama pada kondisi basah, memberikan gaya gesek pada roda kendaraan sehingga kendaraan tidak tergelincir, ataupun slip. Faktor-faktor untuk mendapatkan kekesatan jalan sama dengan untuk mendapatkan stabilitas yang tinggi, yaitu kekasaran permukaan dari butir-butir agregat, luas bidang kontak antar butir atau bentuk butir, gradasi agregat, kepadatan campuran, dan tebal film aspal. Ukuran maksimum butir agregat ikut menentukan kekesatan permukaan. Dalam hal ini agregat yang digunakan tidak saja harus mempunyai permukaan

yang kasar, tetapi juga mempunyai daya tahan untuk permukaannya tidak mudah menjadi licin akibat repetisi kendaraan.

4. Fleksibilitas (*flexibility*)

Fleksibilitas atau kelenturan adalah kemampuan beton aspal untuk menyesuaikan diri akibat penurunan (*settlement*) dan pergerakan dari pondasi atau tanah dasar, tanpa terjadi retak. Penurunan terjadi akibat dari repetisi beban lalu lintas, ataupun penurunan akibat berat sendiri tanah timbunan yang dibuat di atas tanah asli. Fleksibilitas dapat ditingkatkan dengan mempergunakan agregat bergradasi terbuka dengan kadar aspal yang tinggi. Untuk mendapatkan fleksibilitas yang tinggi dapat diperoleh dengan beberapa cara yang sudah umum digunakan, seperti dibawah ini:

- a. Penggunaan agregat bergradasi senjang sehingga diperoleh VMA yang besar.
- b. Penggunaan aspal lunak (aspal dengan penetrasi yang tinggi).
- c. Penggunaan aspal yang cukup banyak sehingga diperoleh VITM yang kecil.

5. Ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue resistance*)

Ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue resistance*) adalah kemampuan beton aspal menerima lendutan berulang akibat repetisi beban lalu lintas, tanpa terjadinya kelelahan berupa alur dan retak. Hal ini dapat tercapai jika mempergunakan kadar aspal yang tinggi. Faktor-faktor yang mempengaruhi ketahanan terhadap kelelahan adalah sebagai berikut ini, *void in the mix* yang tinggi dan kadar aspal yang rendah akan mengakibatkan kelelahan yang lebih cepat dan *void mineral aggregate* dan kadar aspal yang tinggi dapat mengakibatkan lapis perkerasan menjadi *flexible*.

6. Kekesatan/tahanan geser (*skid resistance*)

Kekesatan/tahanan geser (*skid resistance*) adalah kemampuan permukaan beton aspal terutama pada kondisi basah, memberikan gaya gesek pada roda kendaraan sehingga kendaraan tidak tergelincir, ataupun slip. Faktor-faktor untuk mendapatkan kekesatan jalan sama dengan untuk mendapatkan stabilitas yang tinggi, yaitu penggunaan agregat dengan permukaan yang kasar, luas

bidang kontak antar butir atau bentuk butir, gradasi agregat, kepadatan campuran, dan tebal film aspal. Ukuran maksimum butir agregat ikut menentukan kekesatan permukaan. Dalam hal ini agregat yang digunakan tidak saja harus mempunyai permukaan yang kasar, tetapi juga mempunyai daya tahan untuk permukaannya tidak mudah menjadi licin akibat repetisi kendaraan. Penggunaan kadar aspal yang tepat, sehingga tidak terjadi *bleeding* disertai rongga udara yang cukup dalam campurannya untuk menghindari keluarnya aspal dari campuran saat cuaca panas.

7. Kedap Air (*impermeabilitas*)

Kedap air (*impermeabilitas*) adalah kemampuan beton aspal untuk tidak dengan mudah dimasuki air ataupun udara ke dalam lapisan beton aspal. Air dan udara dapat mengakibatkan percepatan proses penuaan aspal (oksidasi) campuran beton aspal dan pengelupasan selimut aspal (film) dari permukaan agregat. Jumlah pori yang tersisa setelah beton aspal dipadatkan dapat menjadi indikator kededapan air campuran. Adapun cara meningkatkan beton aspal kedap air adalah dengan memperkecil VITM dan meningkatkan kadar aspal sefirta menggunakan agregat rapat (*dense graded*)Tingkat *impermeabilitas* beton aspal berbanding terbalik dengan tingkat durabilitasnya.

8. Mudah Dilaksanakan (*workability*)

Kemudahan pelaksanaan adalah sifat mudahnya campuran aspal beton utuk dihamparkan dan dipadatkan, sehingga diperoleh hasil yang memenuhi kepadatan yang direncanakan. Kemudahan pelaksanaan dipengaruhi oleh gradasi agregat, agregat bergradasi baik lebih mudah dilaksanakan daripada agregat bergradasi buruk. Temperatur campuran yang dapat mempengaruhi kekerasan bahan pengikat yang bersifat *thermoplastic*. Kandungan bahan pengisi (*filler*) yang tinggi menyebabkan pelaksanaan lebih sulit.

Kedelapan sifat campuran beton aspal ini tidak mungkin dapat dipenuhi sekaligus oleh satu jenis campuran. Sifat-sifat beton aspal mana yang dominan lebih diinginkan, akan menentukan jenis beton aspal yang dipilih. Hal ini sangat perlu diperhatikan ketika merancang tebal perkerasan jalan. Jalan yang melayani lalu lintas

ringan, seperti mobil penumpang, sepatasnya lebih memilih jenis beton aspal yang memiliki sifat durabilitas dan fleksibilitas yang tinggi dari pada memilih jenis beton aspal dengan stabilitas tinggi, sedangkan jalan yang melayani lalu lintas berat sepatasnya lebih memilih jenis beton aspal yang memiliki sifat stabilitas tinggi dari pada memilih jenis beton aspal dengan durabilitas dan fleksibilitas yang tinggi.

2.3 Material Perkerasan

Material yang terdapat dalam perkerasan lentur (AC, HRS dan SMA) terdiri atas aspal, agregat dan bahan pengisi (filler). Semua material tersebut dicampurkan berdasarkan standarisasi, sesuai spesifikasi masing-masing jenis perkerasan lentur. Bahan ikat pada struktur perkerasan jalan dapat berupa aspal maupun semen Portland (PC).

Aspal yang digunakan dapat berupa aspal yang sudah tersedia di alam ataupun aspal hasil residu minyak bumi. Aspal alam dan aspal hasil residu minyak bumi dapat digabungkan yang dikenal dengan aspal modifikasi, misalnya aspal starbit E-55 dan aspal retona blend E-55.

Semen Portland (PC) juga dapat digunakan dalam perkerasan jalan, tetapi semen PC ini digunakan untuk perkerasan kaku. Dimana semen menjadi bahan pengikat agregat dan filler.

2.3.1 Aspal

Aspal didefinisikan sebagai material perekat, berwarna hitam sampai dengan coklat tua, dengan unsur utama bitumen. Aspal dapat diperoleh di alam ataupun merupakan residu dari pengilangan minyak bumi. Bitumen sering juga disebut aspal, oleh masyarakat Eropa sedangkan masyarakat USA menyebutnya *Asphalt*. Aspal adalah material yang pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat, dan bersifat termoplastis. Jadi aspal akan mencair jika dipanaskan sampai temperature tertentu dan kembali membeku jika temperatur turun. Bersama dengan agregat dan filler, aspal merupakan material pembentuk campuran perkerasan jalan. Banyaknya aspal dalam campuran perkerasan berkisar antara 4%-

9% berdasarkan berat campuran, atau 10-15% berdasarkan volume campuran (Sukirman, 1999).

Berdasarkan tempat diperolehnya aspal dibedakan atas aspal alam dan aspal minyak bumi. Aspal alam yaitu aspal yang diperoleh dari suatu tempat di alam dan dapat digunakan langsung atau dengan sedikit pengolahan. Aspal minyak adalah aspal yang merupakan residu pengilangan minyak bumi, yang banyak terdapat dikilang-kilang milik PT. Pertamina (Persero).

A. Aspal Alam

Aspal alam ada yang diperoleh di gunung-gunung seperti aspal di pulau Buton, didanau seperti Trinidad di USA. Aspal alam terbesar di dunia terdapat di Trinidad, berupa aspal danau (*Trinidad Lake Asphalt*). Indonesia memiliki aspal alam yaitu di Pulau Buton, yang berupa aspal gunung, terkenal dengan nama Asbuton (Aspal Batu Buton). Asbuton merupakan campuran antara bitumen dengan bahan mineral lainnya dalam bentuk batuan. Karena Asbuton merupakan material yang ditemukan langsung di alam, maka kadar bitumen yang dikandungnya sangat bervariasi dari rendah sampai tinggi. Untuk mengatasi hal ini, maka Asbuton mulai produksi dalam berbagai bentuk di pabrik pengolahan Asbuton.

B. Aspal Minyak

Aspal minyak adalah aspal yang merupakan residu destilasi minyak bumi. Setiap minyak bumi dapat menghasilkan residu jenis *asphaltic base crude oil* yang banyak mengandung aspal, *paraffin base crude oil* yang banyak mengandung *parafin*, atau *mixed base crude oil* yang mengandung campuran antara *parafin* dan aspal. Untuk perkerasan jalan umumnya digunakan aspal minyak jenis *asphaltic base crude oil*.

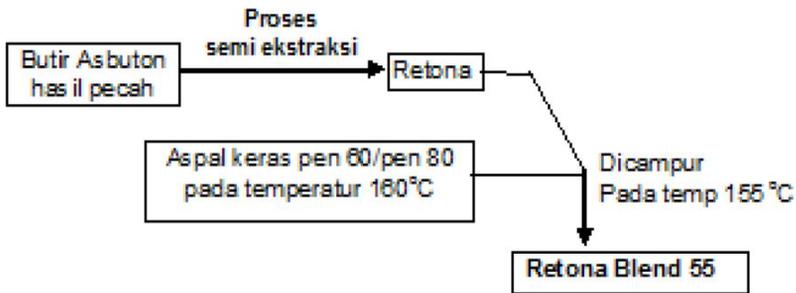
Asbuton merupakan singkat dari aspal batu buton. Asbuton adalah aspal alam yang depositnya terdapat di pulau Buton provinsi Sulawesi Tenggara. Pulau Buton memiliki panjang sekitar 130 km dan lebar 50 km. Asbuton pertama kali ditemukan oleh warga berkebangsaan Belanda bernama Hetzel pada tahun 1920. Asbuton tersebar dibanyak daerah di pulau

Buton, antara lain Kabungka, Lawake, Ereke, Wariti, Waisu dan sekitarnya. Asbuton merupakan aspal alam yang depositnya lebih dari 300.000.000 ton atau sebanding dengan deposit aspal lainnya di dunia. Melihat peluang dari Asbuton ini pada peneliti, pihak investor, pemerintah dan universitas banyak melakukan penelitian dan uji laboratorium untuk Asbuton tersebut.

Penggunaan Asbuton sebagai bahan ikat pada perkerasan jalan tidak sederhana atau semudah seperti aspal minyak pada umumnya. Beberapa uji coba dengan menggunakan Asbuton telah dilakukan dan hasilnya cukup baik. Meski hasil yang dihasilkan cukup baik, tidak mudah bagi pabrik Asbuton dalam memproduksi Asbuton dengan karakteristik yang diinginkan oleh para peneliti di laboratorium dan pelaksanaannya perkerasan di lapangan. Sebagai bahan alam pada umumnya Asbuton memiliki sifat bitumen, kadar minyak ringan, kadar air dan kadar lainnya yang bervariasi. Berdasarkan hal tersebut, seharusnya Asbuton dapat dimodifikasi sesuai dengan karakteristik yang digunakan pada penelitian. Asbuton merupakan campuran antara bitumen dan mineral sehingga menyebabkan Asbuton tidak dapat diperlakukan seperti biasa. Asbuton tidak dapat dicairkan dan dipompa seperti aspal minyak biasa dengan temperatur yang biasa digunakan pada proses pencampuran *hot-mix*. Asbuton juga mudah menggumpal selama masa penyimpanan, terutama beberapa Asbuton dengan nilai penetrasi tinggi sehingga selalu terhambur.

Proses pencampuran Asbuton dengan aspal minyak adalah cara para produsen pengelola Asbuton agar Asbuton tersebut lebih mudah dalam pengerjaannya. Ada investor kemudian membuat aspal modifikasi yang mencampurkan aspal minyak biasa dengan Asbuton yang diberi nama Retona Blend E-55. Retona Blend 55 merupakan gabungan antara Asbuton butir yang telah diekstraksi sebagian dengan aspal keras pen 60 atau pen 80. Komposisi yang ada di dalam campuran Retona Blend E-55 adalah 80% Pen 60/70 dan 20% Asbuton. Komposisi ini dalam satuan berat (Kg). Pembuatannya dilakukan secara fabrikasi dengan alat pengaduk aspal tambahan pada unit pencampur aspal yang dilengkapi alat pemanas, berfungsi

untuk menjamin homogenitas serta mencegah terjadinya pengendapan mineral Retona Blend E-55. Proses pembuatan dapat dilihat seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.3 Proses Pencampuran Retona Blend E-55
(Sumber PT. OlahBumiMandiri)

Sejak tahun 1980 polimer banyak dipakai untuk memodifikasi aspal. Polimer sendiri beragam macamnya, namun sejak tahun 1985 polimer dalam golongan elastomer yang paling banyak digunakan untuk modifikasi aspal. Modifikasi aspal berbasis elastomer ini sudah berkembang jauh dan telah digunakan sebagai standar aplikasi baru di Eropa, Amerika, Jepang, Australia, dan banyak negara maju lainnya. Penggunaan elastomer sebagai modifier aspal ini disukai karena terbukti mampu memberikan peningkatan yang signifikan hampir pada seluruh parameter properties aspal yang dibutuhkan untuk perkerasan jalan. Peningkatan ini tidak hanya meliputi titik lembek, tapi juga *elastic recovery*, daya dukung struktural, ketahanan terhadap air dan sinar ultra violet dan daya lekat terhadap agregat.

Hasil pengalaman selama ini di berbagai dunia, tidak ada modifier lain yang memberikan kualitas peningkatan yang setara dengan elastomer ini. Ada jenis aditif/modifier lain yang dapat menaikkan titik lembek namun ternyata mengurangi daya lekat aspal terhadap agregat dan lainnya.

Elastomer adalah sejenis polimer yang bersifat kenyal yang menjadi suatu sifat yang ciri bagi getah karet. Elastomer juga sering digunakan menjadi bahan baku pada pembuatan ban kendaraan. Elastomer boleh diubahkan bentuknya dan boleh ditarik hingga berganda-ganda panjangnya, tetapi balik kepada bentuk asal pula.

Elastomer juga mengandung molekul-molekul yang panjang dan halus dan menjadi teratur apabila ditarik (<http://ms.wikipedia.org/wiki/Elastomer>).

Berdasarkan dari sifat elastomer tersebut, aspal modifikasi berbasis elastomer telah dikembangkan oleh beberapa perusahaan dan mulai dipasarkan pertengahan tahun 2005. Beberapa uji lapangan telah pula dilakukan sebelumnya dan kini telah berumur lima belas tahun dan praktis belum mengalami kerusakan. Starbit E-55 diproduksi untuk memenuhi persyaratan spesifikasi baru dari Bina Marga tersebut. Bedanya dengan aspal modifikasi yang lain, Starbit merupakan aspal yang dimodifikasi dengan polimer jenis elastomer. Peningkatan kualitas aspal yang didapat tidak hanya berupa peningkatan titik leleh, namun juga *elastic recovery* (untuk lalu lintas beban berat), daya lekat terhadap agregat, ketahanan terhadap oksidasi, ketahanan terhadap *fatigue* (kelelahan), dan ketahanan terhadap deformasi. Ketahanan terhadap air dan cuaca juga cukup baik.

2.3.2 Agregat

Agregat merupakan salah satu komponen yang sangat penting di dalam pekerjaan perkerasan jalan. Agregat merupakan batuan-batuan yang terdapat di tanah yang berasal dari kulit bumi. Material agregat yang digunakan untuk konstruksi perkerasan jalan tugas utamanya untuk memikul beban repetisi lalu lintas. Agregat dengan kualitas dan sifat yang baik dibutuhkan untuk lapisan permukaan yang langsung memikul beban dan mendistribusikan kelapisan di bawahnya. Oleh karena itu, sifat agregat yang menentukan kualitasnya sebagai bahan perkerasan jalan dapat dikelompokkan menjadi 3 kelompok yaitu :

- A. Kekuatan dan keawetan lapisan perkerasan dipengaruhi oleh :
 - 1) Gradasi
 - 2) Ukuran maksimum
 - 3) Kadar lempung
 - 4) Kekerasan dan ketahanan
 - 5) Bentuk butir
 - 6) Tekstur permukaan

- B. Kemampuan dilapisi aspal dengan baik dipengaruhi oleh :
 - 1) Porositas
 - 2) Kemungkinan basah
 - 3) Jenis agregat
- C. Kemudahan dalam pelaksanaan dan menghasilkan lapisan yang aman dan nyaman dipengaruhi oleh :
 - 1) Tahanan gesek (skid resistance)
 - 2) Campuran yang memberikan kemudahan dalam pelaksanaan

Gradasi Agregat adalah susunan butir agregat sesuai ukuran partikelnya dan dinyatakan dalam presentase terhadap total beratnya, diperoleh dari hasil analisa saringan (1 set saringan) dengan cara melewatkan sejumlah material melalui serangkaian saringan dari ukuran besar ke ukuran kecil dan menimbang berat material yang tertahan pada masing-masing saringan.

Gradasi atau distribusi partikel-partikel berdasarkan agregat merupakan hal yang penting dalam menentukan stabilitas perkerasan. Gradasi agregat mempengaruhi besarnya arnnga antar butir dalam proses pelaksanaan. Gradasi agregat secara umum dapat dikelompokkan, sebagai berikut :

1. Gradasi Seragam (*uniform graded*)

Gradasi seragam adalah gregat yang hanya terdiri atas butir-butir agregat berukuran sama atau hampir sama atau mengandung agregat halus yang sedikit jumlahnya sehingga tidak dapat mengisi rongga antara gregat. Campuran beton aspal yang dibuat dari agregat bergradasi ini memiliki sifat banyak rongga udara (*void*), permeabilitas yang tinggi, stabilitas rendah dan beratasi (*density*) yang kecil.

2. Gradasi Rapat (*dense graded*)

Gradasi rapat adalah agregat yang ukuran butirannya kasar sampai dengan butiran halus terdistribusi secara merata dalam satu rentang ukuran butir atau sering disebut gradasi menerus. Campuran dengan gradasi ini akan memiliki stabilitas tinggi, sifat kedap air bertambah dan memiliki berarisi lebih besar.

3. Gradasi Senjang (*poorly graded*)

Gradasi senjang adalah agregat dengan distribusi ukuran butirannya tidak menerus atau ada bagian ukuran yang tidak ada, jika ada hanya sedikit sekali. Agregat dengan gradasi timpang akan menghasilkan lapis perkerasan yang mutunya terletak diantara kedua jenis di atas. Ukuran butiran agregat adalah pemisahan butiran agregat berdasarkan analisa saringan ditujukan untuk mendapatkan proporsi yang optimal dalam perkerasan. Berdasarkan ukuran butirannya, agregat terdiri dari agregat kasar dan agregat halus.

4. Agregat Kasar

Agregat kasar adalah agregat yang tertahan di atas saringan 2,36 mm (No.8) atau lebih besar dari saringan No. 4 (4,75 mm) yang dilakukan secara basah dan harus bersih, keras, awet dan bebas dari lempung atau bahan lainnya. Fraksi agregat kasar untuk keperluan pengujian harus terdiri atas batu pecah atau kerikil pecah dan harus disediakan dalam ukuran-ukuran normal. Agregat kasar ini menjadikan perkerasan lebih stabil dan mempunyai ketahanan terhadap slip (*skid resistance*) yang tinggi sehingga lebih menjamin keamanan berkendara. Agregat kasar yang mempunyai bentuk butiran (*particle shape*) yang bulat memudahkan proses pemadatan, tetapi rendah stabilitasnya, sedangkan yang berbentuk menyudut (*angular*) sulit dipadatkan tetapi mempunyai stabilitas yang tinggi. Agregat kasar harus mempunyai ketahanan terhadap abrasi bila digunakan sebagai campuran *wearing course* (WC).

5. Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat hasil pemecah batu yang mempunyai sifat lolos saringan No. 8 (2,36 mm) atau agregat dengan ukuran butir lebih halus dari saringan No. 4 (4,75 mm). Agregat halus yang digunakan dalam campuran AC dapat menggunakan pasir alam yang tidak melampaui 15% terhadap berat total campuran. Fungsi utama agregat halus adalah untuk menyediakan stabilitas dan mengurangi deformasi permanen dari perkerasan melalui keadaan saling mengunci (*interlocking*) dan gesekan antar butiran. Untuk hal ini maka

sifat eksternal yang diperlukan adalah bentuk menyudut (*angularity*) dan kekasaran permukaan butiran (*particle surface roughness*). Agregat halus harus merupakan bahan yang bersih, keras, bebas dari lempung atau bahan lainnya yang tidak dikehendaki. Batu pecah halus harus diperoleh dari batu yang memenuhi ketentuan mutu dan ketetapan.

2.3.3 Bahan Pengisi (*Filler*)

Bahan pengisi mineral adalah abu mineral tembus ayakan No.200 mesh. Jenis bahan filler secara umum terdiri dari : debu batu kapur, debu dolomit, semen Portland (PC), abu laying (*fly ash*) atau bahan-bahan mineral tidak plastis lainnya.

Beton aspal mempunyai ketentuan bahwa bahan pengisi yang ditambahkan harus bebas dari bahan yang tidak dikehendaki dan tidak menggumpal. Debu batu (*stone dust*) dan bahan pengisi yang ditambahkan harus kering dan bebas dari gumpalan-gumpalan serta bila diuji dengan penyaringan harus mengandung bahan yang lolos saringan No.200 (75 mikron) tidak kurang dari 75% terhadap beratnya.

Totomihardjo (2004) menyatakan *filler* adalah suatu bahan berbutir halus yang lewat ayakan No. 30 (595 μ) US *Standard Sieve* dan 65% lewat ayakan No. 200 (75s μ) bahan *filler* dapat berupa debu batu, kapur, *portland cement* atau bahan lainnya. *Filler* memiliki parameter butiran berupa ukuran yang kecil, bentuk butiran *cubical/round*, gradasi terbuka, dan memiliki permukaan yang luas. Efek penggunaan *filler* terhadap karakteristik campuran beton aspal akan mempengaruhi karakteristik beton aspal tersebut. Kadar *filler* dalam campuran beton aspal akan mempengaruhi dalam proses pencampuran, penggelaran, dan pemadatan. Selain itu kadar dan jenis *filler* akan berpengaruh terhadap sifat elastis campuran dan sensitivitas terhadap air.

Hasil penelitian dari pengaruh penggunaan *filler* oleh Totomihardjo, S. (1994) terhadap campuran beton aspal adalah sebagai berikut :

1. *Filler* diperlukan untuk meningkatkan kepadatan, kekuatan, dan karakteristik lain beton aspal.

2. Sifat aspal (*daktalitas, penetrasi, viskositas*) diubah secara draktis oleh *filler*, walaupun kadarnya relatif rendah pada campuran beton aspal. Penambahan *filler* pada aspal akan meningkatkan konsistensi aspal.
3. *Filler* dapat berfungsi ganda dalam campuran beton aspal :
 - a. Sebagai bagian dari agregat, *filler* akan mengisi rongga dan menambah bidang kontak antara butir agregat sehingga akan meningkatkan kekuatan campuran.
 - b. Bila dicampur dengan aspal, *filler* akan membentuk bahan pengikat yang berkonsistensi tinggi sehingga mengikat butiran agregat secara bersama-sama.
4. Pada kadar *filler* yang umum digunakan dalam campuran beton aspal, daktalitas campuran aspal *filler* akan mencapai nol. Sedangkan pada temperatur dan pada kadar *filler* yang sama, nilai penetrasi campuran aspal *filler* akan turun sampai $<1/3$ dari penetrasi semula.
5. Viskositas campuran aspal *filler* pada temperatur tinggi sangat bervariasi pada kisaran yang lebar tergantung pada jenis *filler* dan kadarnya. Perbedaan ini menjadi kecil pada temperatur lebih rendah.
6. Hasil tes menunjukkan terdapat hubungan yang baik antara stabilitas campuran dan kekentalan aspal pada pemadatan campuran bila kadar *void* yang sama.
7. Sensitivitas campuran terhadap air pada tipe dan kadar *filler* yang berbeda menunjukkan variasi yang cukup besar. Hasil tes menunjukkan bahwa sensitivitas terhadap air dapat diturunkan dengan mengurangi kadar *filler* yang sensitif air.
8. Hasil tes menunjukkan bahwa ada hubungan yang baik antara viskositas aspal dan usaha pemadatan campuran. Disarankan temperatur perlu dinaikkan bila memadatkan campuran dengan *filler* – aspal berkonsistensi tinggi.
9. Dari hasil studi yang telah ada perlu ada kontrol terhadap penambahan *filler* alami dengan cara :

- a. Analisis ukuran partikel dengan *hydrometer method*, yaitu kandungan *clay* ($\leq 5\%$) perlu dibatasi.
- b. *Plasticity index*, nilainya juga perlu dibatasi.
- c. *Immersion-compression test*, berdasarkan pada sensitivitas terhadap air, *filler* dapat ditolak atau kadarnya disesuaikan sampai batas yang diterima.

Depkimpraswil dalam spesifikasi (2002) menyebutkan bahan pengisi (*filler*) untuk campuran aspal adalah :

1. Bahan pengisi yang ditambahkan harus terdiri dari debu batu kapur, *cement portland*, abu terbang, abu tanur semen, atau bahan non plastis lainnya dari sumber manapun. Bahan tersebut harus bebas dari bahan yang tidak dikehendaki.
2. Bahan pengisi yang ditambahkan harus kering dan bebas dari gumpalan-gumpalan dan bila diuji dengan pengayakan secara basah sesuai dengan SK SNI M-02-1994-03 harus mengandung bahan yang lolos ayakan No. 200 (0,075 mm) tidak kurang dari 75% terhadap beratnya.
3. Bilamana kapur tidak terhidrasi atau terhidrasi sebagian, digunakan sebagai bahan pengisi yang ditambahkan maka proporsi maksimum yang diizinkan adalah 1% dari berat total campuran aspal.

Asphalt Institute MS-22 (2001) menyatakan bahwa mineral *filler* dapat menggunakan debu batu, debu batu kapur, semen PC atau bahan mineral tidak plastis yang bebas dari gumpalan dan minimal 70% lolos saringan No. 200. Rongga udara pada agregat kasar diisi dengan partikel lolos saringan No. 200 yang membuat rongga udara lebih kecil sehingga mampu meningkatkan kerapatan dan stabilitas campuran beton aspal.

2.4 Marshall Test

Pengujian *Marshall* adalah suatu metode pengujian untuk mengukur stabilitas dan kelelahan plastis campuran beraspal dengan menggunakan alat uji Marshall (*Marshall Test*). Ini merupakan metode yang paling umum digunakan dan sudah distandarisasi di

dunia maupun di Indonesia. Dalam metode tersebut terdapat tiga parameter penting dalam pengujian tersebut, yaitu beban maksimum yang dapat dipikul benda uji sebelum hancur atau sering disebut dengan *Marshall stability* dan deformasi permanen dari benda uji sebelum hancur yang disebut dengan *Marshall Flow* serta turunan yang merupakan perbandingan antara keduanya.

(*Marshall Stability dengan Marshall Flow*) yang disebut dengan *Marshall Quotient* (MQ). Untuk mengetahui karakteristik campuran beton aspal dapat diketahui dari sifat-sifat *Marshall* dan sifat volumetric yang ditunjukkan dengan parameter di bawah ini:

- 1) Stabilitas (*Stability*)
- 2) Kelelahan (*Flow*)
- 3) MQ (*Marshall Quotient*)
- 4) Kepadatan (*Density*)
- 5) Volume Pori (*Voids*)
- 6) Tebal Selimut Aspal (*film asphalt thickness*)

Penjelasan lebih lanjut dari *Marshall Test* dan Sifat Volumetrik dapat dijelaskan lebih lanjut sebagai berikut:

1. Stabilitas (*stability*)

Stabilitas merupakan kemampuan lapis perkerasan untuk menahan deformasi yang terjadi akibat beban lalu lintas yang bekerja di atasnya tanpa mengalami perubahan bentuk tetap seperti gelombang dan alur. Stabilitas sendiri dipengaruhi oleh bentuk, kualitas, tekstur permukaan dan gradasi agregat yaitu gesekan antar butiran agregat dan penguncian antara gregat, daya lekat dan kadar aspal dalam campuran. Nilai stabilitas diperoleh berdasarkan nilai masing-masing yang ditunjukkan oleh jarum dial. Untuk nilai stabilitas, nilai yang ditunjukkan pada jarum dial perlu dikonversikan terhadap alat *Marshall*. Selain itu pada umumnya alat *Marshall* yang digunakan bersatuan (*pound force*), sehingga harus disesuaikan satuannya terhadap satuan kilogram. Selanjutnya nilai tersebut juga harus disesuaikan dengan angka koreksi terhadap ketebalan atau volume benda uji. Nilai stabilitas diperoleh langsung dari pembacaan arloji stabilitas pada alat uji *Marshall*.

Nilai stabilitas (kg) = nilai pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi proving ring x koreksi tebal benda uji 2.1

2. Kelelehan (*flow*)

Kelelehan menunjukkan besarnya deformasi yang terjadi pada lapis keras akibat beban yang diterimanya. Nilai *flow* yang tinggi menandakan campuran bersifat plastis, sebaliknya nilai *flow* yang rendah maka campuran akan bersifat kaku. Seperti halnya cara memperoleh nilai stabilitas seperti di atas nilai *flow* berdasarkan nilai masing-masing yang ditunjukkan oleh jarum dial. Hanya saja untuk alat uji jarum *dial flow* biasanya sudah dalam satuan mm (milimeter). Besarnya nilai *flow* diperoleh dari pembacaan arloji *flowmeter* saat melakukan pengujian Marshall.

Nilai *flow* = nilai pembacaan arloji *flow* pada pengujian Marshall dengan satuannya milimeter (mm) 2.2

3. MQ (*Marshall Quotient*)

Marshall Quotient adalah perbandingan antara nilai stabilitas dengan nilai *flow*. Nilai MQ didapat dari hasil bagi antara nilai stabilitas dengan nilai *flow*. Nilai dari MQ akan memberikan nilai fleksibilitas campuran. Semakin besar nilai MQ berarti campuran semakin kaku, sebaliknya bila semakin kecil nilainya maka campuran semakin lentur. Fleksibilitas akan naik diakibatkan oleh penambahan kadar aspal dan akan turun setelah sampai pada batas optimum. Besarnya nilai *Marshall Quotient* (MQ) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$MQ = \frac{\text{Nilai stabilitas (kg)}}{\text{Nilai flow (mm)}} \dots\dots\dots 2.3$$

4. Kepadatan (*density*)

Nilai kepadatan (*density*) menunjukkan tingkat kerapatan campuran yang telah dipadatkan. Semakin besar nilai *density*, maka kerapatannya semakin baik. Dengan semakin

meningkatnya kadar aspal, jumlah aspal yang dapat mengisi rongga antar butir semakin besar, sehingga campuran menjadi semakin rapat dan padat.

$$Density = \frac{\text{berat kering benda uji (gr)}}{\text{volume benda uji (cm}^3\text{)}} \dots\dots\dots 2.4$$

5. Perhitungan jenis volume pori dalam beton aspal padat yang meliputi,

- a. Volume pori diantara butir agregat didalam beton aspal padat (*VMA*)
- b. Volume pori beton aspal padat (*VITM*)
- c. Volume pori beton aspal padat terisi oleh aspal (*VFWA*)
- d. Berat jenis maksimum teorities (G_{mm})
- e. Berat Jenis *Bulk* Beton Aspal Padat (G_{mb})
- f. Kadar aspal terabsorsi ke dalam pori agregat (P_{ab})
- g. Kadar aspal efektif yang menyelimuti agregat (P_{ae})

6. Perhitungan tebal selimut atau film aspal

Tebal lapisan film aspal (*bitument film thickness*) pada suatu campuran beton aspal sangat menentukan durabilitas beton aspal. Semakin tebal lapisan film aspal maka campuran akan lebih tahan terhadap oksidasi. Ketebalan lapisan aspal dipengaruhi oleh besarnya kadar aspal, untuk kepentingan durabilitas dan kemudahan pekerjaan kadar aspal dapat ditambahkan sampai dengan 1% dari kadar aspal optimum (Nicholls, 1998). Tebal lapisan film aspal tidak boleh kurang dari 5 micron untuk beton aspal campuran panas (Whiteoak, 1990).

Luas total permukaan agregat campuran ditentukan oleh gradasi dari agregat campuran. *Asphalt InstituteMS-2* menghitung luas total permukaan agregat dengan mempergunakan data persentase lolos 1 set saringan dan faktor luas permukaan (FLP). Satu set saringan terdiri dari saringan No. 4, 8, 16, 30, 50, 100, dan 200. FLP merupakan luas permukaan permukaan agregat sesuai ukuran saringan untuk setiap 1 kg agregat. Jadi FLP dinyatakan dalam m²/kg.

Tabel 2.1 Faktor Luas Permukaan Agregat

Saringan		Faktor Luas Permukaan (FLP)
No.	Mm	m ² /kg
≥ 4	4,75	0,41
8	2,36	0,82
16	1,18	1,64
30	0,60	2,87
50	0,30	6,14
100	0,15	12,29
200	0,075	32,77

Sumber : *Asphalt Institute MS-2*

Catatan :

- untuk semua ukuran saringan diatas No.4 diperhitungkan sebagai 0,41 m²/kg.
FLP dipakai jika seluruh urutan saringan digunakan

Tebal selimut aspal dihitung dengan persamaan berikut.

$$\text{Tebal selimut aspal} = x \frac{P_{ae}}{G_a} \times \frac{1}{LP \times P_s} 1000 \mu\text{m} \dots\dots\dots 2.6$$

dimana :

- P_{ae} = kadar aspal efektif yang menyelimuti butir-butir agregat, % terhadap berat beton aspal padat.
- G_a = berat jenis aspal
- LP = kadar agregat, % terhadap berat beton aspal padat
- P_s = luas permukaan total dari agregat campuran didalam beton aspal padat

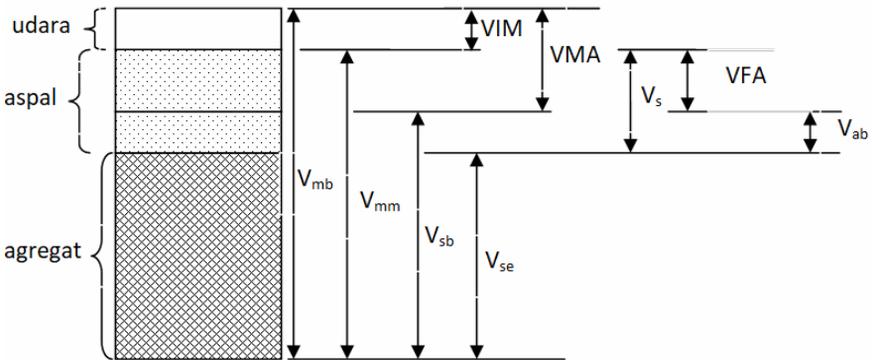
Banyaknya aspal yang berfungsi menyelimuti permukaan setiap butir agregat dinyatakan dengan kadar aspal efektif. Semakin tinggi kadar aspal efektif semakin tebal selimut/film aspal pada masing-masing butir agregat. Tebal film aspal ditentukan oleh luas permukaan seluruh butir agregat pembentuk beton aspal.

Pengujian kinerja beton aspal padat dilakukan melalui pengujian Marshall. Alat Marshall merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan *proving ring* (cincin penguji) berkapasitas 22,2 KN (5000 lbf) dan *flowmeter*. *Proving ring* digunakan untuk mengukur kelelahan plastis atau *flow*. Benda uji Marshall berbentuk silinder berdiameter 4 inci dan tinggi 2,5 inci.

Keenam butir pengujian yang umum dilakukan untuk menentukan kinerja beton aspal yang menggunakan alat Marshall hanya untuk nilai stabilitas dan *flow*, sedangkan parameter lainnya ditentukan melalui penimbangan benda uji dan perhitungan. Secara garis besar pengujian Marshall meliputi, persiapan benda uji, penentuan berat jenis *bulk* dari benda uji, dan pemeriksaan nilai stabilitas, *flow* dan perhitungan sifat volumetrik benda uji.

2.5 Sifat Volumetrik dari Beton Aspal Campuran Panas

Secara analitis dapat ditentukan sifat volumetrik dari campuran beton aspal padat, baik yang dipadatkan di laboratorium maupun di lapangan. Parameter yang dipakai adalah V_{mb} , V_{mm} , V_{sb} , V_{se} , V_s , V_{ab} , VMA, VITM, dan VFWA. Volume didalam campuran beton aspal padat seperti pada gambar 2.4 berikut.



Gambar 2.4 Skematis Berbagai Jenis Volume Beton Aspal

dimana :

V_{mb} = volume *bulk* dari beton aspal campuran panas

- V_{sb} = volume agregat dalam volume *bulk* dari agregat (volume bagian masif + pori yang ada didalam masing-masing butir agregat)
- V_{se} = volume agregat adalah volume efektif dari rongga (volume bagian masif + pori yang tidak berisi aspal didalam masing-masing butir agregat)
- VMA = volume pori diantara butir agregat didalam beton aspal padat
- $VITM$ = volume pori yang berada dalam beton aspal padat
- V_{mm} = volume tanpa pori dari beton aspal padat
- V_s = volume aspal dalam beton aspal padat
- $VFWA$ = volume pori beton aspal yang terisi oleh aspal
- V_{ab} = volume aspal yang terabsorpsi kedalam agregat dari beton aspal padat

Besarnya parameter-parameter tersebut sangat ditentukan oleh proses perancangan dan pelaksanaan baik di laboratorium maupun di lapangan.

1. Berat jenis maksimum beton aspal teorities (G_{mm})

Berat jenis maksimum beton aspal teoritis diperoleh melalui perhitungan dengan berdasarkan berat beton aspal campuran panas yang belum dipadatkan sebanyak 100 gram. Beton aspal campuran panas dibuat dari P_a (%) aspal dan P_s (%) agregat terhadap berat beton aspal padat.

$$\text{Jadi : } P_a + P_s = 100\%$$

Aspal mempunyai berat jenis G_a , dan agregat mempunyai berat jenis efektif G_{se} . Jadi di dalam campuran dengan berat total 100 gram tersebut terdapat :

$$\text{Berat aspal} = (P_a/100) \times 100 \text{ gram} = P_a \text{ gram}$$

$$\text{Volume aspal} = (P_a/G_a) \text{ cm}^3$$

Volume aspal sebanyak P_a/G_a (cm^3) ini menunjukkan volume aspal yang menyelimuti agregat ditambah volume aspal yang masuk ke dalam pori masing-masing agregat.

$$\text{Berat aspal} = (P_s/100) \times 100 \text{ gram} = P_s \text{ gram}$$

$$\text{Volume aspal} = (P_s/G_{se}) \text{ cm}^3$$

Volume agregat sebesar P_s/G_{se} ini menunjukkan volume masif agregat ditambah pori yang tidak dapat diresapi oleh aspal. Jika tidak ada pori tersisa didalam beton aspal yang belum dipadatkan ini, maka volume beton aspal adalah :

$$(P_a/G_a) + (P_s/G_{se}) \text{ cm}^3$$

Jadi G_{mm} dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$G_{mm} = \frac{100}{(P_s / G_{se}) + (P_a / G_a)} \dots\dots\dots 2.5$$

dimana :

- G_{mm} = berat jenis maksimum beton aspal teorities, (gr/cm³)
- P_s = kadar agregat terhadap berat beton aspal padat, (%)
- P_a = kadar aspal terhadap berat beton aspal padat, (%)
- G_{se} = berat jenis efektif agregat pembentuk beton aspal padat, (gr/cm³)
- G_a = berat jenis aspal, (gr/cm³)

2. Berat jenis *bulk* beton aspal padat (G_{mb})

Berat jenis *bulk* dari beton aspal padat (G_{mb}) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$G_{mb} = \frac{B_k}{(B_{ssd} - B_a)} \dots\dots\dots 2.6$$

dimana :

- G_{mb} = berat jenis *bulk* dari beton aspal padat, (gr/cm³)
- B_k = berat kering beton aspal padat, (gr)
- B_{ssd} = berat kering permukaan beton aspal yang telah dipadatkan, (gr)
- B_a = berat beton aspal padat di dalam air, (gr)
- $B_{ssd} - B_a$ = Volume *bulk* dari beton aspal padat, B_j air dianggap 1 gr/cm³

3. VMA (Void in Mineral Aggregate)

VMA adalah persentase rongga udara antar butiran agregat dalam campuran agregat aspal padat, termasuk rongga udara dan kadar aspal efektif dalam total volume campuran. Jika VMA terlalu besar maka campuran bisa memperlihatkan masalah stabilitas dan tidak ekonomis untuk diproduksi, sebaliknya jika terlalu kecil maka campuran bisa mengalami masalah durabilitas. VMA dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$VMA = \left\{ 100 - \frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}} \right\} \% \text{ dari volume } \textit{bulk} \text{ beton aspal padat 2.7}$$

dimana :

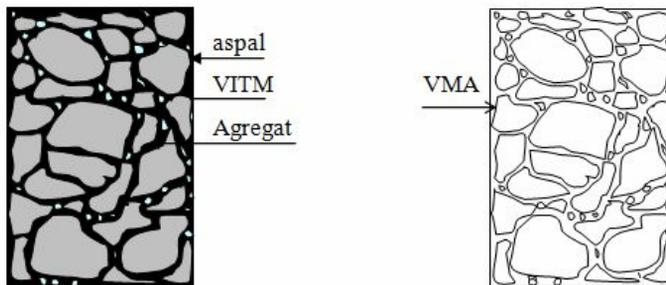
VMA = volume pori antara agregat didalam beton aspal padat

G_{mb} = berat jenis *bulk* dari beton aspal padat

P_s = kadar agregat, % terhadap berat beton aspal padat

G_{sb} = berat jenis *bulk* dari agregat pembentuk beton aspal padat

Gambar berikut menunjukkan ilustrasi dari VMA dan VITM.



Gambar 2.5 Ilustrasi Pengertian VMA dan VITM

4. VITM (Void in the Mix)

VITM (*Void in the Mix*) adalah persentase antara rongga udara dengan volume total campuran setelah dipadatkan. Nilai VITM akan semakin kecil apabila kadar aspal semakin besar. Nilai VITM berpengaruh terhadap keawetan lapisan perkerasan jalan, semakin tinggi nilai VITM menunjukkan semakin besar rongga dalam

campuran sehingga campuran bersifat *porous*. Hal ini akan menyebabkan campuran menjadi kurang rapat sehingga air dan udara mudah memasuki rongga-rongga dalam campuran yang menyebabkan aspal mudah teroksidasi sehingga menyebabkan lekatan antar butir agregat berkurang dan terjadi pelepasan butiran serta pengelupasan permukaan. VITM dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\text{VITM} = 100 \times \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \quad \% \text{ dari volume } \textit{bulk} \text{ beton aspal padat} \quad \dots \quad 2.8$$

dimana :

VITM = volume pori dalam beton aspal padat, % dari volume *bulk* beton aspal padat

G_{mm} = berat jenis maksimum dari beton aspal yang belum dipadatkan

G_{mb} = berat jenis *bulk* dari beton aspal padat

5. VFWA (Void Filled with Asphalt)

VFWA yaitu persentase rongga dalam campuran yang terisi aspal yang nilainya akan naik berdasarkan naiknya kadar aspal sampai batas tertentu, dimana rongga telah penuh. Nilai VFWA berpengaruh pada sifat kekedapan campuran terhadap air dan udara serta sifat elastisitas campuran. Kata lain VFWA menentukan stabilitas, fleksibilitas dan durabilitas. Semakin besar nilai VFWA, maka semakin banyak aspal yang terisi di dalam rongga, sehingga kekedapan campuran terhadap air dan udara semakin besar juga dan menyebabkan *bleeding*. Sebaliknya semakin kecil nilai VFWA, maka kekedapan perkerasan terhadap air dan udara akan semakin kecil juga, sehingga aspal akan mudah teroksidasi sehingga keawetan akan berkurang. VFWA dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\text{VFWA} = \frac{100 (\text{VMA} - \text{VITM})}{\text{VMA}} \quad \% \text{ dari VMA} \quad \dots \quad 2.9$$

dimana :

VFWA = volume pori antara butir agregat yang terisi aspal = % dari VMA

VMA = volume pori antara agregat didalam beton aspal padat, % dari volume bulk beton aspal padat.

VITM = volume pori dalam beton aspal padat, % dari volume *bulk* beton aspal

6. Kadar aspal terabsorpsi ke dalam pori agregat (bitumen absorption, P_{ab})

Aspal yang terdapat dalam beton aspal padat berfungsi sebagai penyelimut butir-butir agregat dan pengisi pori didalam masing-masing butir agregat (terabsorpsi ke dalam pori agregat), dengan jumlah aspal dalam beton aspal campuran panas yang sama banyak, maka selimut aspal lebih tipis akan terjadi pada campuran dengan agregat yang memiliki pori-pori lebih banyak dapat mengabsorpsi aspal. Hal ini berdampak pada berkurangnya durabilitas beton aspal. Sebaliknya jika yang terabsorpsi (penyerapan) sedikit maka selimut aspal akan tebal, durabilitas beton aspal lebih baik, tetapi kemungkinan terjadi *bleeding* akan menjadi besar. Banyaknya aspal yang terabsorpsi kedalam pori butir-butir agregat dinyatakan sebagai persentase dari berat campuran agregat, disebut P_{ab} dan P_{ab} dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$P_{ab} = 100 \frac{(G_{se} - G_{sb})}{(G_{sb} \times G_{se})} G_a \text{ \% dari berat agregat} \dots\dots\dots 2.10$$

dimana :

P_{ab} = kadar aspal yang terabsorpsi kedalam pori butir agregat
= % dari berat agregat

G_{sb} = berat jenis *bulk* dari agregat pembentuk beton aspal padat

G_{se} = berat jenis efektif dari agregat pembentuk beton aspal padat

G_a = berat jenis aspal

7. Kadar aspal efektif yang menyelimuti agregat (P_{ae})

Banyaknya aspal yang berfungsi menyelimuti permukaan setiap butir agregat adalah jumlah aspal yang dimasukkan ke dalam beton aspal campuran panas dikurangi bagian yang terabsorpsi ke dalam pori setiap butir agregat. Kadar aspal ini disebut kadar aspal efektif (P_{ae}), yang dinyatakan sebagai persentase terhadap berat beton aspal padat. P_{ae} dapat dihitung sebagai berikut.

$$P_{ae} = P_a - \frac{P_{ab}}{100} P_s \text{ \% dari berat beton aspal padat 2.11}$$

dimana :

- P_{ae} = kadar aspal efektif yang menyelimuti butir-butir agregat, % terhadap berat beton aspal padat
- P_a = kadar aspal terhadap berat beton aspal padat, %
- P_s = kadar agregat, % terhadap berat beton aspal padat
- P_{ab} = kadar aspal yang terabsorpsi ke dalam pori butir agregat, % terhadap berat beton aspal padat

2.6 Uji Perendaman (*Immersion Test*)

Uji perendaman bertujuan untuk mengetahui perubahan karakteristik dari campuran akibat pengaruh air, temperatur dan cuaca. Pengujian ini pada prinsipnya sama dengan pengujian *Marshall Standard*, hanya waktu perendaman saja yang membedakan. Benda uji pada *Immersion Test* direndam selama 24 jam pada temperatur konstan 60°C sebelum pembebanan diberikan. Hasil perhitungan indeks tahanan campuran aspal (*Index of retained strength*) adalah persentase nilai stabilitas campuran yang direndam selama 24 jam yang dibandingkan dengan stabilitas campuran biasa. Apabila indek tahanan campuran lebih atau sama dengan 75%, campuran tersebut dapat dikatakan memiliki tahanan yang cukup baik dari kerusakan akibat pengaruh air, temperature dan cuaca.

2.7 Karakteristik Campuran *Asphalt Concrete* (AC)

Penentuan karakteristik campuran AC adalah berdasarkan pembuatan campuran benda uji. Karakteristik campuran AC sangat

ditentukan oleh komposisi dalam campuran. Pada umumnya untuk AC, kadar aspal berkisar antara 4% - 6% berdasarkan komposisi beton aspal campuran panas, sehingga dalam menentukan komposisi campurannya adalah dengan menetapkan kadar aspal berdasarkan nilai tengahnya.

Karakteristik dan persyaratan campuran beton aspal berdasarkan tabel 2.2 berikut.

Tabel 2.2 Persyaratan AC Campuran Panas

Sifat-sifat Campuran		AC-BC1 Wearing	AC-BC2 Binder	AC- Base	
Penyerapan kadar aspal	Maks	1,2 untuk lalulintas >1 juta ESA 1,7 untuk lalulintas < 1 juta ESA			
Jumlah tumbukan per bidang		75	75	112	
Rongga dalam campuran (VITM) %	Lalulintas (LL) >1 juta ESA	4,9 - 5,9			
	½ juta < LL < 1 juta ESA	3,9 - 4,9			
	LL < ½ juta ESA	3,0 - 5,0			
Rongga dalam agregat (VMA) %	Min	15	14	13	
Rongga terisi aspal (VFWA) %	Lalulintas (LL) >1 juta ESA	Min	65	63	60
	½ juta < LL < 1 juta ESA	Min	68		
	LL < ½ juta ESA	Min	75	75	73
Stabilitas Marshall (kg)	Min	800	800	1800	
Kelelahan / Flow (mm)	Min	2			
Marshall Quotient (kg/mm)	Min	200			
Stabilitas Marshall setelah rendaman selama 24 jam, 60°C (%)	Min	85 untuk lalulintas > 1 juta ESA 80 untuk lalulintas < 1 juta ESA			
Rongga dalam campuran (VITM) pada kepadatan me mbal (refusal), %	Lalulintas (LL) >1 juta ESA	Min	2,5		
	½ juta < LL < 1 juta ESA	Min	2,0		
	LL < ½ juta ESA	Min	1,0		

Pembuatan campuran benda uji diawali dengan menentukan kadar aspal tengah (P_b), yang dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut.

$$P_b = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\% \text{ Filler}) + K \dots\dots\dots 2.12$$

dimana :

- P_b = kadar aspal tengah, persen terhadap berat campuran
- CA = persen agregat tertahan saringan No.8
- FA = persen agregat lolos saringan No.8 dan tertahan saringan # 200
- Filler = persen agregat minimal 75% lolos No. 200
- K = konstanta 1 - 2 untuk lapis HRS

Kadar aspal tengah merupakan pedoman untuk membuat benda uji agar diperoleh kadar aspal optimum (KAO) pada suatu campuran. Nilai kadar aspal tengah yang diperoleh dari perhitungan, selanjutnya dibulatkan untuk memudahkan menentukan kadar aspal dalam campuran.

2.8 Karakteristik Campuran Hot Rolled Sheet (HRS)

Karakteristik dan persyaratan campuran beton aspal berdasarkan tabel 2.3berikut.

Tabel 2.3 Persyaratan HRSCampuran Panas

Sifat-sifatCampuran		HRS-WC	HRS-BC
Penyerapankadaraspal	Maks	1,7	
Jumlahtumbukanperbidang		75	75
Ronggadalamcampuran (VITM) %		3 - 6	
Ronggadalamagregat (VMA) %	Min	18	17
Ronggaterisiaspal (VFVA) %	Min	68	
Stabilitas Marshall (kg)	Min	800	
Kelelahan / Flow (mm)	Min	3	
Marshall Qoutient (kg/mm)	Min	250	
Stabilitas Marshall setelah rendaman selama 24 jam, 60°C (%)	Min	90	
Ronggadalamcampuran (VITM) pada kepadatanmembal (<i>refusal</i>), %	Min	3	

Pembuatan campuran benda uji diawali dengan menentukan kadar aspal tengah (P_b), yang dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut.

$$P_b = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\% \text{ Filler}) + K \quad \dots\dots\dots 2.12$$

dimana :

- P_b = kadar aspal tengah, persen terhadap berat campuran
- CA = persen agregat tertahan saringan No.8
- FA = persen agregat lolos saringan No.8 dan tertahan saringan # 200
- Filler = persen agregat minimal 75% lolos No. 200
- K = konstanta 0,5 – 1 untuk lapis AC (*Asphalt Concrete*).

Kadar aspal tengah merupakan pedoman untuk membuat benda uji agar diperoleh kadar aspal optimum (KAO) pada suatu campuran. Nilai kadar aspal tengah yang diperoleh dari perhitungan, selanjutnya dibulatkan untuk memudahkan menentukan kadar aspal dalam campuran.



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Bahan Penelitian

Penelitian “Studi Karakteristik Penggunaan Serbuk Ban Bekas (Perkerasan AC dan HRS)” dilaksanakan pada Laboratorium Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh.

1. Agregat
Material agregat kasar, halus dan *filler* (debu batu) seluruhnya berasal dari daerah sungai Krueng Meuh kabupaten Aceh Utara.
2. Aspal
Sebagai bahan pengikat/perekat digunakan aspal keras dengan penetrasi 60/70 atau dengan istilah AC 60/70 produksi PT. Pertamina.
3. Air Perendam
Air yang dipakai sebagai rendaman adalah air murni untuk uji rendaman standar sebagai cara menguji durabilitas.

3.2 Peralatan Penelitian

Keberhasilan penelitian sangat ditentukan oleh tersediannya peralatan pengujian dalam keadaan baik (memenuhi syarat). Untuk itu digunakan peralatan yang tersedia di Laboratorium Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh, yang meliputi:

1. Peralatan pemeriksaan agregat, terdiri dari :
 - a. Mesin Los Angeles untuk mengukur keausan/abrasi
 - b. Satu set saringan untuk menentukan gradasi
 - c. Tabung *sand equivalent*
 - d. Peralatan ukur berat jenis
 - e. Peralatan ukur keawetan/kekekalan
2. Peralatan pemeriksaan aspal, terdiri dari :
 - a. Peralatan ukur penetrasi (jarum penetrasi)
 - b. Peralatan ukur titik lembek (*Ring & ball*)
 - c. Peralatan ukur daktilitas
 - d. Peralatan ukur titik nyala (*Cleveland open cup*)

- e. Peralatan uji kehilangan berat
 - f. Peralatan ukur kelarutan
 - g. Peralatan ukur berat jenis (piknometer)
3. Peralatan pembuatan benda uji, terdiri dari :
- a. Cetakan benda uji berbentuk silinder ukuran diameter 101,6 mm (4") dan tinggi 75 mm (3").
 - b. Marshall *Hammer* ukuran diameter 98,4 mm (3⁷/₈"), berat 4,5 kg (10 lbs) dengan tinggi jatuh 457 mm (18").
 - c. Timbangan kapasitas 5 kg, ketelitian 1 gr dan kapasitas 2 kg dengan ketelitian 0,1 gr.
 - d. *Ejector* untuk melepaskan benda uji setelah dipadatkan.
 - e. Peralatan pendukung untuk membuat benda uji berupa oven, termometer, panci pecampur, sendok pengaduk, pemanas aspal, dan lain-lain.
4. Peralatan untuk uji parameter Marshall, terdiri dari :
- a. Mesin tekan (desak) terdiri dari kepala penekan berbentuk lengkung (*breaking head*), cincing penguji berkapasitas 2500 kg (5500 lbs) yang dilengkapi dengan arloji tekan dengan ketelitian 0,0025 cm (0,0001"). Cincin penguji dilengkapi dengan arloji pengukur kelelahan plastis (*flowmeter*) dengan ketelitian 0,25 cm (0,01").
 - b. Peralatan penunjang untuk uji Marshall berupa pematik (berat 4,536 kg) dan tinggi jatuh 45,7 cm, timbangan elektrik, pengukur tinggi benda uji, dan *ejector*.
5. Alat untuk uji potensi durabilitas, terdiri dari :
- a. Bak perendam
 - b. *Thermometer*
 - c. Cawan
 - d. Ember
 - e. Kain

3.3 Perancangan Benda Uji Penelitian

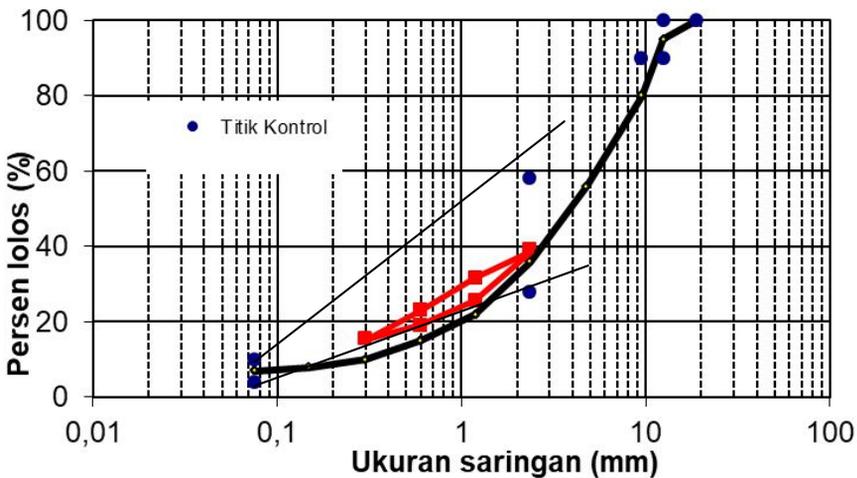
Perancangan benda uji untuk penelitian : "Studi Karakteristik Penggunaan Serbuk Ban Bekas (Perkerasan AC dan HRS)" dikelompokkan 3 bagian, yaitu :

1. Gradasi target penelitian

Perancangan benda uji beton aspal campuran panas harus menghasilkan campuran yang baik, untuk itu dipakai gradasi menerus dan rapat seperti disyaratkan dalam spesifikasi.

Tabel 3.1 Gradasi Agregat Beton Aspal AC-BC

Saringan		Spesifikasi Depkimpraswil (2002)		% Lolos	
Metrik (mm)	ASTM	% lolos		Target gradasi	Terhadap total
		Titik kontrol	Daerah larangan		
37,5	1,5"	-		-	63
25	1"	-		-	
19	¾"	100		100	
12,5	½"	90 - 100		95	
9,5	3/8"	Maks. 90		80	
4,75	#4			56	
2,36	#8	28 - 58	39,1	36	31
1,19	#16		25,6 - 31,6	22	
0,60	#30		19,1 - 23,1	15	
0,30	#50		15,5	10	
0,149	#100			8	
0,075	#200	4 - 10		7	



Gambar 3.1. Gradasi Agregat Beton Aspal AC-BC

Agregat yang dipakai adalah yang lolos saringan mulai dari 3/4", 1/2", 3/8", #4, dan #8 sebagai agregat kasar dengan persentase agregat yang lolos sebanyak 63% dari total agregat. Agregat halus mulai dari saringan #16, #30, #50, dan #100 persentase agregat yang lolos sebanyak 31% dari total agregat dan sebagai *filler* yang lolos saringan No. 200 sebanyak 7% dari total agregat, seperti pada tabel 3.1 dan gambar 3.1 di atas.

Agregat yang dipakai untuk aspal beton HRS-WC adalah yang lolos saringan mulai dari 3/4", 1/2", 3/8", dan #8 sebagai agregat kasar dengan persentase agregat yang lolos sebanyak 63% dari total agregat. Agregat halus mulai dari saringan #16, dan #30 persentase agregat yang lolos sebanyak 31% dari total agregat dan sebagai *filler* yang lolos saringan No. 200 sebanyak 7% dari total agregat.

2. Jumlah benda uji penelitian

Penentuan jumlah benda uji berdasarkan kebutuhan untuk melaksanakan penelitian ini. Langkah pertama yang dilakukan untuk membuat perancangan benda uji adalah menentukan kadar aspal tengah (P_b). Kadar aspal tengah diperoleh dengan menggunakan persamaan, $P_b = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\% \textit{Filler}) + K$, dan dibuat masing-masing jenis campuran beton aspal, yaitu AC-BC dan HRS-WC.

Kadar aspal tengah menjadi nilai patokan membuat benda uji untuk memperoleh nilai kadar aspal optimum (KAO). Kadar aspal optimum beton aspal campuran panas pada lapisan AC-BC dan HRS-WC dapat dicari dengan penambahan dan pengurangan sebesar 0,5% dan 1% dari kadar aspal tengah, dengan jumlah masing-masing benda uji 3 unit sesuai dengan kadar aspalnya. Penentuan KAO membutuhkan benda uji sebanyak 15 unit.

Pengujian *Marshall* standar memerlukan benda uji sebanyak 15 unit untuk AC-BC dan HRS-WC 15 unit. Selanjutnya untuk uji durabilitas masing-masing 3 unit campuran beton aspal AC-BC dan HRS-WC. Penambahan serbuk ban bekas 25%, 50%, 75% dan 100% untuk campuran beton aspal AC-BC dan HRS-WC masing-masing 12 unit. Benda uji yang dibuat haruslah benar-benar sesuai dengan spesifikasi dan kriteria yang sudah ditetapkan. Benda uji ini semua

dicetak pada Laboratorium Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh.

Tabel 3.2 Jumlah Benda Uji dalam Penelitian

1. Perancangan Kadar Aspal Optimum (AC-BC)						
No. Benda uji	Kadar aspal (%)					Jumlah
	4,5	5	Pb	6	6,5	
1	3	3	3	3	3	15
2. Perancangan Kadar Aspal Optimum (HRS-WC)						
No. Benda uji	Kadar aspal (%)					Jumlah
	6,0	6,5	Pb	7,5	8,0	
2	3	3	3	3	3	15
3. Uji Durabilitas (AC-BC)						
No. Benda uji	Kadar aspal 5,5%					Jumlah
	3	3				
4. Uji Durabilitas (HRS-WC)						
No. Benda uji	Kadar aspal 5,5%					Jumlah
	4	3				
5. Uji Marshall Standar (AC-BC)						
No. Benda uji	Serbuk Ban Karet (%)				Jumlah	
	25% lolosaringan #30	50% lolosaringan #30	75% lolosaringan #30	100% lolosaringan #30		
5	3	3	3	3	12	
6. Uji Marshall Standar (HRS-WC)						
No. Benda uji	Serbuk Ban Karet (%)				Jumlah	
	25% lolosaringan #30	50% lolosaringan #30	75% lolosaringan #30	100% lolosaringan #30		
6	3	3	3	3	12	
Total Benda Uji						60

3.4 Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji untuk penelitian “Studi Karakteristik Penggunaan Serbuk Ban Bekas (Perkerasan AC dan HRS)” dilakukan dengan cara berikut :

1. Aspal yang digunakan harus memenuhi syarat-syarat yang telah ditentukan;
2. Agregat sebelum dipakai harus dibersihkan, dikeringkan, memenuhi syarat-syarat yang telah ditentukan, dan sesuai dengan gradasi yang diinginkan
4. Jumlah agregat kasar, agregat halus dan *filler* adalah 1200 gram untuk setiap benda uji.
5. Campuran agregat kasar, agregat halus dan *filler* dengan berat yang sesuai dengan rencana campuran dipanaskan hingga temperatur $\pm 160^{\circ}\text{C}$.
6. Aspal dipanaskan sampai pada temperatur pencampuran $\pm 155^{\circ}\text{C}$.
7. Agregat kasar, agregat halus, *filler*, dan aspal diaduk sampai merata diatas alat pemanas.
8. Setelah merata campurannya, dimasukkan kedalam cetakan yang telah dipanaskan, sebelumnya sambil ditusuk-tusuk dengan spatula sebanyak 15 kali pada bagian tepi dan 10 kali pada bagian tengahnya.
9. Dilakukan pemadatan standar pada temperatur 145°C dengan alat penumbuk sebanyak 2×75 tumbukan untuk setiap sisinya.
10. Benda uji didinginkan, setelah itu dikeluarkan dari cetakan dengan *ejector*.

3.5 Pengujian Benda Uji

Setelah benda uji selesai dikerjakan dibersihkan dari kotoran yang menempel diberi tanda sebagai pengenal dan diukur tingginya dengan alat kaliper, kemudian timbang beratnya dalam timbangan dengan ketelitian 1 gram.

Selanjutnya dilanjutkan dengan pengujian standar Marshall dan uji rendaman (*Marshall immersion*) 24 jam. Pengujian standar Marshall dilakukan dengan merendam benda uji dalam air yang ada pada *waterbath* selama 30 menit dengan temperatur 60°C, kemudian keringkan permukaannya untuk melakukan pengujian stabilitas dan *flow*.

Uji rendaman (*Marshall immersion*) dilakukan dengan merendam benda uji kedalam air yang ada pada *waterbath* selama 24 jam dengan temperatur 60°C, kemudian keringkan permukaannya untuk melakukan pengujian stabilitas dan *flow* dengan alat Marshall.

Selanjutnya yang terakhir pengujian Marshall dan volumetrik campuran aspal beton AC-BC dan HRS-WC. Pengujian ini dilakukan pada KAO yang telah ditentukan dan ditambahkan variasi serbuk ban bekas sebanyak 25%, 50%, 75% dan 100% dari berat agregat yang lolos aringan #30 dan tertahan saringan #50 untuk AC-BC dan aspalbeton HRS-WC dengan variasi serbuk ban bekas sebanyak 25%, 50%, 75% dan 100% dari berat agregat yang lolos saringan #30 dan tertahan saringan #200.

•

This page is intentionally left blank

BAB IV HASIL PENELITIAN

4.1 Pengujian Bahan

Bahan atau material yang dipakai untuk campuran panas AC-BC dan HRS-WC terdiri dari aspal keras AC 60/70, agregat berupa batu pecah, dan sebagai *filler* digunakan debu batu yang berasal dari kabupaten Aceh Utara, sedangkan serbuk ban karet diperoleh dari ban kendaraan yang sudah dihancurkan menjadi serbuk.

Material yang digunakan untuk campuran panas AC-BC dan HRS-WC harus memenuhi spesifikasi, agar menghasilkan aspal campuran panas AC-BC dan HRS-WC yang memenuhi spesifikasi teknik.

1. Pengujian aspal keras AC 60/70

Aspal yang dipakai sebagai bahan pengikat pada campuran panas AC-BC dan HRS-WC harus diperiksa, agar sesuai dengan spesifikasi yang telah disyaratkan. Hasil pemeriksaan aspal keras AC 60/70 produksi Pertamina di Laboratorium Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh ditabulasikan pada tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Hasil Pemeriksaan Aspal

No.	Sifat aspal	Persyaratan		Hasil	Satuan
		Min	Mak		
1	Penetrasi 25°C (5 detik)	60	79	67,2	0,1 mm
2	Titik lembek (<i>ring & ball</i>)	45	58	50,3	°C
3	Titik nyala (<i>cle. Open cup</i>)	200	-	341	°C
4	Kehilangan berat 163°C (5 jam)	-	0,4	0,076	% berat
5	Kelarutan (CCL ₄)	99	-	99,77	% berat
6	Daktalitas 25°C (5 cm/menit)	100	-	> 100	cm
7	Penetrasi setelah kehilangan berat	75	-	78,21	% semula
8	Berat jenis (25°C)	1	-	1,040	-

2. Pengujian agregat

Agregat yang merupakan bahan utama dari campuran panas AC-BC dan HRS-WC yang berasal dari kabupaten Aceh Utara. Agregat kasar, agregat halus, dan *filler* yang dipakai harus memenuhi spesifikasi. Agregat berasal dari sungai Krueng Meuh. Hasil dari pemeriksaan agregat ditabulasikan pada tabel 4.2 berikut.

Tabel 4.2 Hasil Pemeriksaan Agregat

No.	Sifat Agregat	Persyaratan		Hasil	Satuan
		Min	Maks		
Agregat Kasar					
1	Keausan pada 500 putaran	-	40	33,9	%
2	Kelekatan dengan aspal	95	-	98	%
3	Penyerapan air	-	3	2,469	%
4	Berat jenis curah (<i>bulk</i>)	2,5	-	2,532	-
5	Berat jenis semu	2,5	-	2,700	-
Agregat Halus					
1	Penyerapan air	-	3	1,958	%
2	Berat jenis curah (<i>bulk</i>)	2,5	-	2,731	-
3	Berat jenis semu	2,5	-	2,885	-
4	<i>Sand equivalent</i>	40	-	79,66	%
Filler					
1	Berat jenis	2,5	-	2,697	-

4.2 Penentuan Kadar Aspal Optimum

Aspal merupakan bahan pengikat antara agregat kasar, agregat halus, dan *filler*. Sebagai bahan pengikat kadar aspal sangat menentukan daya tahan dan stabilitas dari campuran panas AC-BC dan HRS-WC. Kadar aspal yang terlalu banyak dapat meningkatkan daya tahan campuran, tetapi mengurangi stabilitas campuran dan begitu juga sebaliknya, untuk itu harus diketahui kadar aspal yang paling optimum (kadar aspal optimum). Kadar aspal optimum akan sangat berbeda untuk campuran panas AC-BC dan HRS-WC yang disebabkan oleh komposisi penggunaan agregat, dimana campuran panas AC-BC menggunakan agregat menerus dan rapat sedangkan

campuran panas HRS-WC menggunakan agregat terbuka dan senjang.

1. Parameter Marshall dan sifat volumetrik

Berdasarkan hasil penimbangan benda uji dan pengujian parameter *Marshall* dilakukan analisis untuk mengetahui nilai-nilai *density*, kadar rongga dalam agregat (VMA), rongga terhadap campuran (VITM), rongga yang terisi aspal (VFWA), stabilitas, *flow*, dan *Marshall Quotient*. Hasil dari parameter Marshall dan volumetrik dari 3 buah benda uji yang dirata-ratakan ditabulasikan pada tabel 4.3. berikut.

Tabel 4.3 Hasil parameter Marshall dan sifat volumetrik (AC-BC)

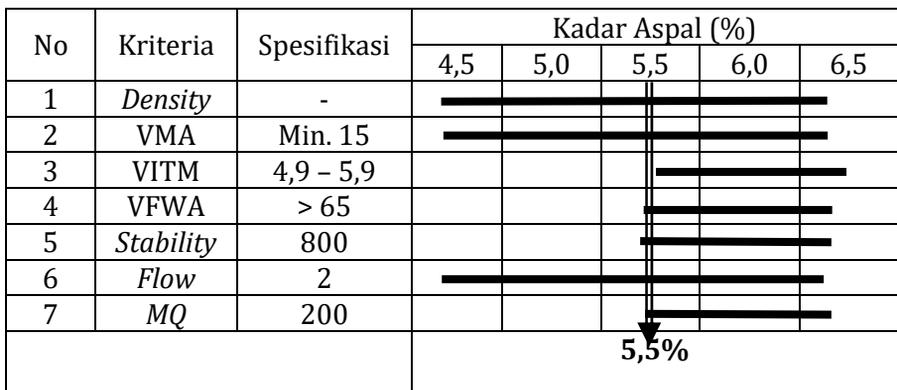
Kadar Aspal (%)	<i>Density</i> (gr/cm ³)	VMA (%)	VITM (%)	VFWA (%)	Stabilitas (kg)	<i>Flow</i> (mm)	<i>MQ</i> (kg/mm)
4,0	2,149	20,45	12,54	40,02	723	4,0	180
4,5	2,238	17,58	10,68	39,30	763	4,1	186
5,0	2,314	15,19	7,01	53,84	785	4,2	189
5,5	2,328	15,07	5,83	61,39	1040	4,3	243
6,0	2,344	14,87	4,55	69,43	894	4,3	210

Tabel 4.4 Hasil parameter Marshall dan sifat volumetrik (HRS-WC)

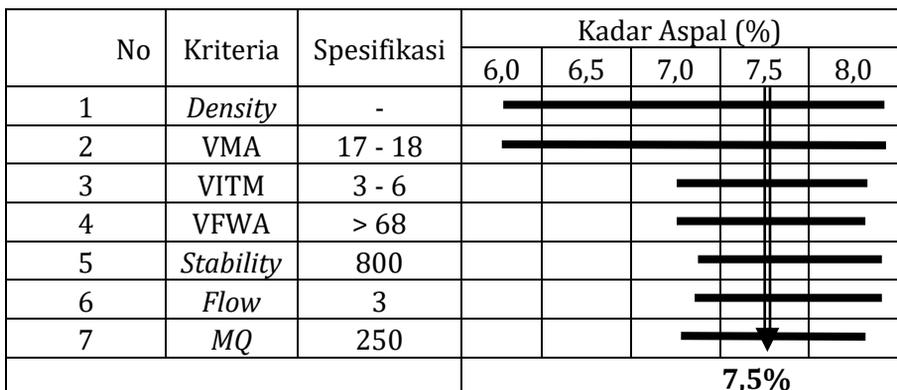
Kadar Aspal (%)	<i>Density</i> (gr/cm ³)	VMA (%)	VITM (%)	VFWA (%)	Stabilitas (kg)	<i>Flow</i> (mm)	<i>MQ</i> (kg/mm)
6,0	2,274	17,44	6,67	62,02	524	2,26	232
6,5	2,269	17,99	6,14	65,91	1000	1,92	518
7,0	2,361	15,08	3,95	74,01	969	2,22	472
7,5	2,268	18,80	4,75	74,98	875	2,20	397
8,0	2,263	19,36	4,25	78,32	994	1,49	674

2. Kadar aspal optimum (KAO)

Kadar aspal optimum diperoleh dengan melakukan pengujian, pertama sekali adalah menentukan kadar aspal tengah berdasarkan persamaan 3.1. dan selanjutnya membuat benda uji dengan kadar aspal tengah sebagai dasar untuk komposisi kadar aspal, kemudian dibuat benda uji dengan kadar aspal kurang dari 0,5% dan 1% serta kadar aspal lebih dari 0,5% dan 1%. Setelah itu setiap benda uji di timbang untuk memperoleh volumetrik dan diuji dengan alat *Marshall* untuk memperoleh parameter *Marshall*. Hasil KAO untuk campuran panas AC-BC dan HRS-WC diplot dalam sebuah grafik seperti pada gambar 4.1 dan 4.2 berikut.



Gambar 4.1 Kadar Aspal Optimum AC-BC



Gambar 4.2 Kadar Aspal Optimum HRS-WC

Berdasarkan nilai parameter *Marshall* diperoleh nilai KAO 5,5% untuk campuran panas AC-BC dan 7,5% untuk campuran panas HRS-WC dari berat total agregat, seperti pada gambar 4.1 dan 4.2.

Pada campuran aspal panas AC-BC nilai spesifikasi dari *density* dan *VMA* terpenuhi oleh setiap kadar aspal 4,5% sampai 6,5%, sedangkan *VITM*, *VFWA stability*, *Flow* dan *MQ* yang paling optimum hanya terpenuhi pada kadar aspal 5,5% sampai dengan 6,5%.

Pada campuran aspal panas HRS-WC nilai spesifikasi dari *density* dan *VMA* terpenuhi oleh setiap kadar aspal 6,0% sampai 8,0%, sedangkan *VITM*, *VFWA stability*, *Flow* dan *MQ* yang paling optimum hanya terpenuhi pada kadar aspal 7,0% sampai dengan 8,0%.

3. Tebal lapisan film aspal pada kadar aspal optimum (KAO)

Tebal lapisan film aspal (*bitument film thickness*) pada suatu beton aspal campuran panas sangat menentukan durabilitas campuran panas AC-BC dan HRS-WC. Semakin besar kadar aspal makin besar nilai kelelehan (*flow*), yang berarti campuran panas AC-BC dan HRS-WC tidak mudah runtuh, harus mempunyai stabilitas yang tinggi dan tak mudah berubah bentuk.

Tebal lapisan film aspal (Whiteoak 1990), mensyaratkan tebal lapisan film aspal tidak boleh kurang dari 5 micron untuk campuran panas AC-BC dan HRS-WC karena dapat mengurangi durabilitasnya. Sedangkan kadar aspal optimum (KAO) dari hasil analisis tebal lapisan film aspal tertera pada tabel 4.5 dan 4.6 berikut ini.

Tabel 4.5 Hasil BFT pada KAO (AC-BC)

Kadar aspal terhadap total agregat (%)	Berat jenis aspal	FLP x persen lolos (m ² /kg)	Tebal lapisan aspal (micron)
5,5	1,030	5,583	7,535

Tabel 4.6 Hasil BFT pada KAO (HRS-WC)

Kadar aspal terhadap total agregat (%)	Berat jenis aspal	FLP x persen lolos (m ² /kg)	Tebal lapisan aspal (micron)
7,5	1,030	5,583	11,090

4.3 Pengujian Perendaman (*Durabilitas Test*)

Pengujian perendaman dilakukan untuk melihat keawetan campuran AC-BC dan HRS-WC berupa stabilitas, *flow*, dan *Marshall Quotient*. Dimana masing-masing benda uji dibuat sebanyak 3 buah dan diambil nilai rata-ratanya dengan kadar aspal yang berbeda-beda (4,5%; 5,0%; 5,5%; 6,0% dan 6,5%) untuk AC-BC dan (6,0%; 6,5%; 7,0%; 7,5% dan 8,0%) untuk HRS-WC.

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Standar Marshall AC-BC

No.	Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)
1	4,5	690	2,9	238
2	5,0	732	2,9	253
3	5,5	758	3,0	253
4	6,0	998	3,0	333
5	6,5	867	3,1	280

Tabel 4.8 Hasil Pengujian Standar Marshall HRS-WC

No.	Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)
1	6,0	500	2,2	232
2	6,5	960	1,8	521
3	7,0	935	2,1	436
4	7,5	850	2,1	402
5	8,0	964	1,4	667

Pengujian dilaksanakan setelah benda uji direndam dalam air murni selama 24 jam pada temperatur 60°C. Hasil pengujian standar menjadi acuan untuk mengetahui keawetan campuran AC-BC dan HRS-WC. Hasil dari pengujian ditabulasikan pada tabel 4,7 dan 4.8 diatas.

4.4 Pengujian Penggunaan Serbuk Ban Bekas

Pengujian karakteristik campuran aspal beton AC-BC dan HRS-WC dengan menggunakan serbuk ban bekas sebagai pengganti agregat halus yang lolos saringan #30 dan tertahan saringan #50. Penggunaan serbuk ban bekas direncanakan dengan komposisi 25%, 50%, 75% dan 100% untuk pengganti agregat halus yang lolos saringan #30 dan tertahan saringan #50.

Hasil *density*, VMA, VITM, VFWA, *stability*, *flow* dan MQ untuk campuran beton AC-WC dan HRS-WC dengan komposisi serbuk ban bekas 25%, 50%, 75% dan 100% diperlihatkan pada tabel 4.9 dan 4.10 berikut ini.

Tabel 4.9 Karakteristik Marshall dan Volumetrik (Serbuk Ban Bekas AC-BC)

Kadar Serbuk Ban Bekas (%)	Density (gr/cm ³)	VMA (%)		VITM (%)		VFWA (%)		Stabilitas (Kg)		Flow (mm)		MQ (Kg/mm)	
		Hasil	Spek (**)	hasil	Spek (**)	hasil	Spek (**)	hasil	Spek (**)	hasil	Spek (**)	hasil	Spek (**)
25	2,283	16,71	≥14	7,65	4,9 – 5,9	54,26	≥63	844	≥800	4,2	≥2	203	≥200
50	2,266	17,33		8,34		52,06		1119		4,3		261	
75	2,252	17,85		8,91		50,10		963		4,3		226	
100	2,209	19,42		10,66		45,27		780		4,1		191	

Tabel 4.10 Karakteristik Marshall dan Volumetrik (Serbuk Ban Bekas HRS-WC)

Kadar Serbuk Ban Bekas (%)	Density (gr/cm ₃)	VMA (%)		VITM (%)		VFWA (%)		Stabilitas (Kg)		Flow (mm)		MQ (Kg/mm)	
		Hasil	Spek **)	hasil	Spek **)	hasil	Spek **)	hasil	Spek **)	hasil	Spek **)	hasil	Spek **)
25	2,425	18,15	≥17	6,00	3-6	66,69	≥68	1.737	≥800	6,2	≥3	280	≥250
50	2,055	18,70		5,73		69,28		2.516		3,6		699	
75	1,930	17,41		6,17		64,54		2.491		3,2		778	
100	1,752	18,14		5,54		69,42		3.050		4,1		744	

•

BAB V

PEMBAHASAN

5.1 Pengujian Bahan

Sebelum menggunakan material-material untuk campuran aspal beton AC-BC dan HRS-WC pada perkerasan jalan, harus dilakukan pengujian. Pengujian dilakukan untuk mengetahui spesifikasi dari bahan yang akan dipakai, apakah telah sesuai dengan persyaratan yang ditentukan bila tidak memenuhi kriteria yang disyaratkan, maka bahan-bahan tersebut tidak boleh digunakan untuk campuran aspal beton AC-BC dan HRS-WC atau untuk mengetahui layak tidaknya suatu material digunakan berdasarkan suatu spesifikasi atau kriteria teknik.

Pengujian bahan tersebut dapat dilakukan sesuai dengan tata cara pemeriksaan bahan yang sudah lazim dipakai atau sesuai dengan standar yang telah ditentukan oleh Kementerian Pekerjaan Umum.

1. Pengujian aspal

Pengujian yang dilakukan terhadap aspal AC 60/70 menghasilkan kriteria aspal seperti pada tabel 4.1. yang berarti dapat digunakan sebagai bahan perekat pada campuran aspal beton AC-BC dan HRS-WC untuk pengujian campuran serbuk ban bekas menggantikan agregat yang lolos saringan #30 dan tertahan saringan #50.

2. Pengujian agregat

Hasil pengujian terhadap agregat kasar (batu pecah), agregat halus (batu pecah), dan *filler* (debu batu) yang berasal dari sungai Krueng Meuh kabupaten Aceh Utara menghasilkan kriteria seperti yang disyaratkan dalam spesifikasi teknik dan hasil pengujian agregat seperti pada tabel 4.2.

5.2 Formula Perancangan Campuran

Formula perancangan campuran dibutuhkan untuk menghasilkan suatu campuran aspal beton AC-BC dan HRS-WC

kokoh, kuat, dan tidak mudah berubah bentuk serta ekonomis. Hal tersebut dapat tercapai bila parameter-parameter yang berhubungan dengan formula perancangan campuran memenuhi syarat-syarat yang telah ditetapkan.

Parameter-parameter yang berhubungan dengan formula perancangan campuran berupa rongga udara dalam campuran yang terdiri dari *void in mineral aggregate (VMA)*, *void in the mix (VITM)*, *void filled with asphalt (VFWA)*, stabilitas, *flow*, dan *Marshall Quotient (MQ)*. Keseluruhan parameter tersebut harus memenuhi syarat yang telah ditetapkan berdasarkan rencana beban lalu lintas dalam beton aspal campuran panas untuk menghasilkan komposisi campuran yang optimal.

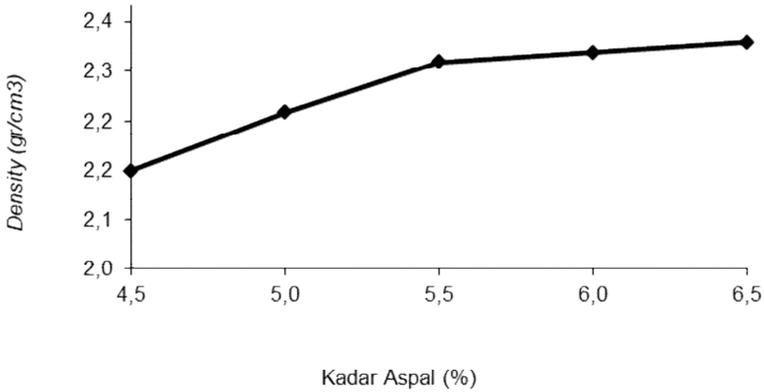
Berdasarkan rencana gradasi agregat dan persentase kadar aspal, dari penelitian diperoleh nilai-nilai dari VMA, VITM, VFWA, stabilitas, *flow*, dan MQ. Berdasarkan nilai-nilai tersebut dicari dan ditetapkan kadar aspal optimum (KAO) sebesar 5,5% untuk campuran aspal beton AC-BC. Persentase berat agregat, dengan kadar aspal 5,5% menghasilkan beton aspal campuran panas yang optimal. Sedangkan untuk campuran aspal beton HRS-WC persentase berat agregat, dengan kadar aspal 7,5% menghasilkan beton aspal campuran panas yang optimal.

Pengaruh kadar aspal terhadap parameter *Marshall* dan volumetrik dari campuran aspal beton AC-BC dan HRS-WC sangat berbeda antara keduanya. Campuran beton aspal AC-BC menggunakan kadar aspal 5,5% sedangkan HRS-WC menggunakan kadar aspal 7,5%. Perbedaan dari campuran aspal beton AC-BC dan HRS-WC dapat dijelaskan lebih detailnya dari uraian berikut.

1. Pengaruh kadar aspal terhadap kepadatan (*density*)

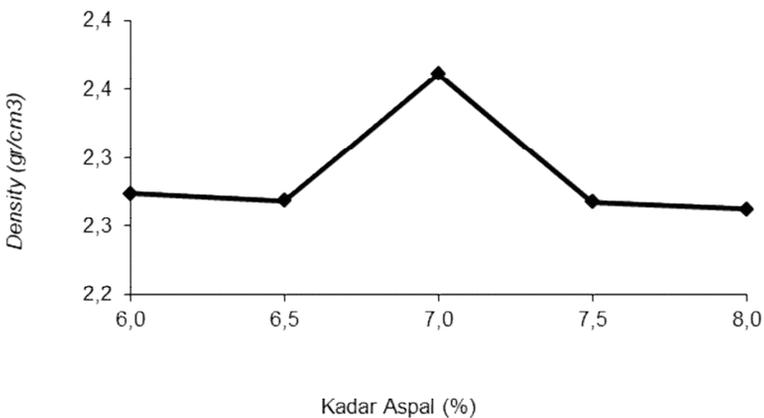
Pengaruh kepadatan campuran sangat ditentukan oleh proses pemadatan, temperatur, gradasi agregat, dan kadar aspal. Penambahan kadar aspal sampai pada jumlah tertentu akan memberikan kepadatan yang optimum hal ini disebabkan aspal sebagai pelumas dalam proses pemadatan, sehingga butir-butir agregat akan mudah dipadatkan. Kepadatan akan turun bila kadar aspal terlalu sedikit karena dalam proses pemadatan akan terjadi gesekan antara permukaan butir-butir agregat, dan bila kadar aspal

terlalu banyak maka aspal tidak sebagai pelumas lagi melainkan akan menjadi pengisi rongga-rongga (lapisan film aspal terlalu tebal), sehingga kerapatan campuran menjadi kecil.



Gambar 5.1 Pengaruh Kadar Aspal Terhadap *Density* (AC-BC)

Kadar aspal 4,5% sampai dengan 6,5% dari berat agregat, kepadatan terus naik dan menghasilkan kepadatan yang optimum pada kadar aspal 6,5% untuk beton aspal AC-BC. Hasil penelitian yang dilakukan untuk menghitung kepadatan campuran seperti pada gambar 5.1.

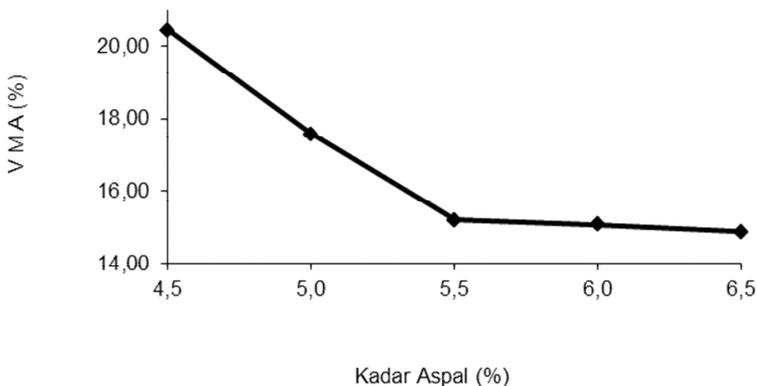


Gambar 5.2 Pengaruh Kadar Aspal Terhadap *Density* (HRS-WC)

Kadar aspal 6,0% sampai dengan 7,0% dari berat agregat, kepadatan terus naik dan menghasilkan kepadatan yang optimum pada kadar aspal 7,0%. Selanjutnya seiring bertambahnya kadar aspal 7,5% dan 8,0% nilai kepadatan dari campuran aspal beton HRS-WC terus turun sama dengan kepadatan dengan kadar aspal 6,0% dan 6,5%. Hasil penelitian yang dilakukan untuk menghitung kepadatan campuran seperti pada gambar 5.2.

2. Pengaruh kadar aspal terhadap *voids in mineral aggregate (VMA)*

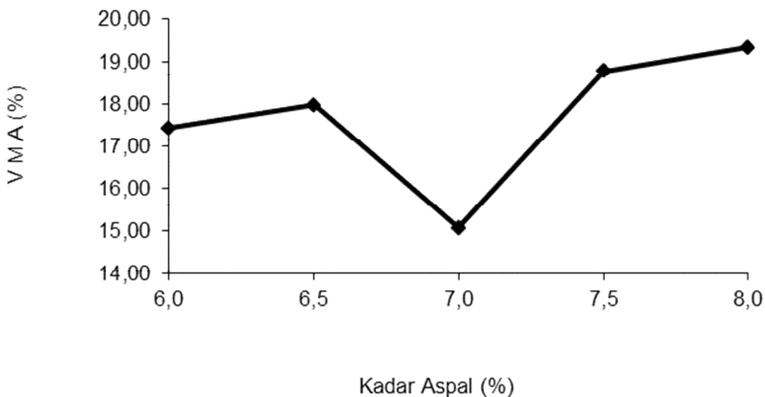
Agregat bergradasi bergradasi rapat memberikan rongga antara butiran agregat (VMA) yang kecil. VMA yang kecil mengakibatkan aspal yang menyelimuti butir-butir agregat terbatas dan menghasilkan lapisan film aspal yang tipis. Film aspal yang tipis mengakibatkan butir-butir agregat mudah lepas, menjadikan perkerasan mudah rusak. Pemakaian aspal yang banyak mengakibatkan aspal tidak dapat lagi menyelimuti butir-butir agregat dengan baik karena VMA yang kecil dan juga menghasilkan VITM yang kecil, adanya repetisi beban lalu lintas yang menambah pemadatan lapisan yang mengakibatkan lapisan aspal meleleh keluar (*bleeding*).



Gambar 5.3 Pengaruh Kadar Aspal Terhadap VMA (AC-BC)

VMA minimum adalah sebesar 14% dari total agregat, ini menunjukkan hasil penelitian memenuhi syarat. Kadar aspal 4,5% sampai 6,5% dari berat agregat menunjukkan nilai VMA terus turun, hal ini disebabkan aspal menjadi pelumas yang memadatkan beton aspal campuran panas (butir-butir agregat saling mengisi dan mengikat). Besarnya nilai VMA yang diperoleh dari penelitian dan analisis data seperti pada gambar 5.3.

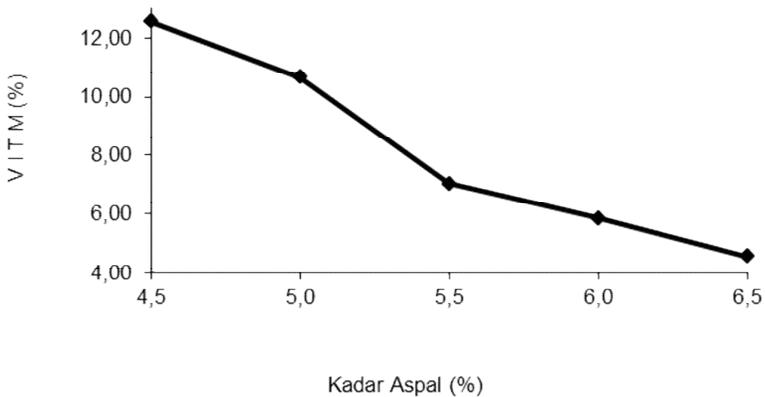
VMA minimum adalah sebesar 17% dari total agregat, ini menunjukkan hasil penelitian memenuhi syarat. Kadar aspal 6,0% sampai 6,5% dari berat agregat menunjukkan nilai VMA naik, hal ini disebabkan aspal tidak menjadi pelumas yang memadatkan beton aspal campuran panas (butir-butir agregat saling mengisi dan mengikat). Tetapi pada kadar aspal lebih dari 7,0% dari berat agregat menunjukkan nilai VMA turun ini disebabkan aspal berfungsi menjadi pelumas yang memadatkan beton aspal campuran panas (butir-butir agregat saling mengisi dan mengikat). Pada kadar aspal 7,5% dan 8,0% VMA semakin naik karena rongga-rongga yang terisi aspal diantara butir-butir agregat sudah sedemikian rapat, sehingga dengan bertambahnya selimut aspal akan memperbesar rongga diantara butir-butir agregat. Besarnya nilai VMA yang diperoleh dari penelitian dan analisis data seperti pada gambar 5.4.



Gambar 5.4 Pengaruh Kadar Aspal Terhadap VMA (AC-BC)

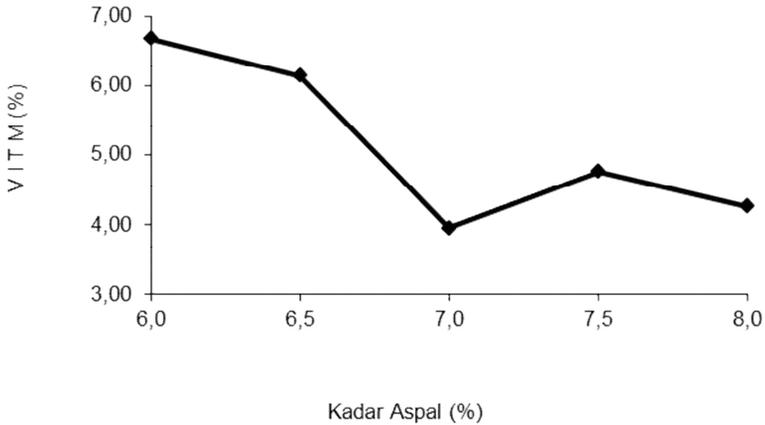
3. Pengaruh kadar aspal terhadap voids in the mix (VITM)

Kadar aspal sangat menentukan besar atau kecilnya rongga udara dalam campuran ditentukan oleh nilai VITM. Kadar aspal yang besar akan menghasilkan nilai VITM yang besar dan bila kadar aspal kecil akan menghasilkan nilai VITM yang kecil pula. Kadar aspal yang besar menghasilkan lapisan film aspal yang tebal, menghasilkan beton aspal campuran panas yang fleksibilitas dan durabilitas tinggi dan mudah untuk dikerjakan, tetapi kemungkinan terjadi bleeding menjadi besar. Kadar aspal yang kecil menghasilkan lapisan film aspal yang tipis, menghasilkan beton aspal campuran panas yang kaku dan stabilitas tinggi, tetapi cepat terjadi retak. VITM berkaitan dengan ketersediaan rongga yang berfungsi sebagai ruang gerak bagi partikel-partikel yang ada dalam beton aspal campuran panas.



Gambar 5.5 Pengaruh Kadar Aspal Terhadap VITM (AC-BC)

VITM minimum adalah sebesar 4,9% dan maksimum 5,9% dari total agregat. Kadar aspal 4,5% sampai 6,5% dari berat agregat menunjukkan nilai VITM turun, hal ini disebabkan aspal menjadi pelumas yang memadatkan beton aspal campuran panas (butir-butir agregat saling mengisi dan mengikat). Nilai VITM yang diperoleh dari penelitian dan analisis data seperti pada gambar 5.5.



Gambar 5.6 Pengaruh Kadar Aspal Terhadap *VITM (HRS-WC)*

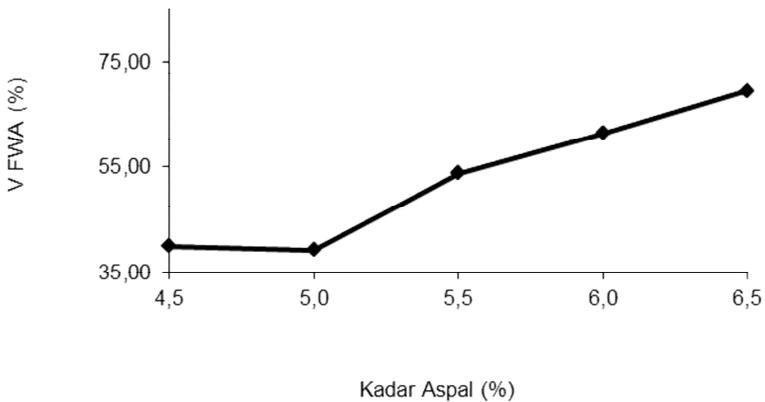
Berdasarkan nilai *VITM* minimum adalah sebesar 3,0% dan maksimum 6,0% dari total agregat. Kadar aspal 6,0% sampai 7,0% dari berat agregat menunjukkan nilai *VITM* turun, hal ini disebabkan aspal menjadi pelumas yang memadatkan beton aspal campuran panas (butir-butir agregat saling mengisi dan mengikat). Kadar aspal lebih dari 7,5% sampai 8,0% menunjukkan nilai *VITM* menaik lagi, hal ini dapat disebabkan aspal menumpuk pada rongga-rongga tertentu saja diantara butir-butir agregat sudah sedemikian rapat. Nilai *VITM* yang diperoleh dari penelitian dan analisis data seperti pada gambar 5.6.

4. Pengaruh kadar aspal terhadap *voids filled with asphalt (VFWA)*

Banyaknya kadar aspal yang mengisi rongga-rongga antara butir-butir agregat pada aspal beton campuran panas ditunjukkan dari nilai *VFWA*. Semakin besar kadar aspal maka makin banyak mengisi rongga-rongga pada beton aspal campuran panas dan nilai *VFWA* tinggi. Banyak kadar aspal dalam beton aspal campuran panas berhubungan erat dengan durabilitas, karena lapisan film aspal makin besar dan sangat mungkin terjadi bleeding. Kadar aspal yang kecil menjadikan beton aspal campuran panas bersifat porous dan mudah teroksidasi. Besarnya nilai *VFWA* pada suatu campuran

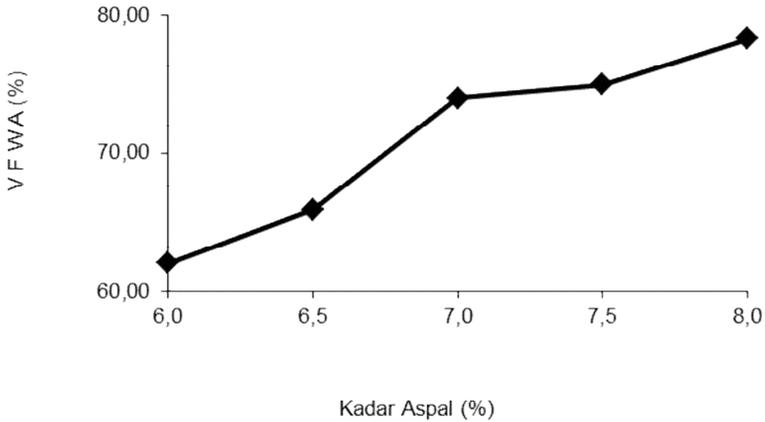
sangat ditentukan oleh proses pemadatan, temperatur, gradasi agregat, dan kadar aspal serta dibatasi oleh nilai VITM.

VFWA minimum adalah sebesar 63%. Kadar aspal 4,5% sampai 5,0% dari berat agregat menunjukkan nilai VFWA turun sedikit, hal ini dapat disebabkan oleh karena tidak semua aspal mengisi pori-pori yang ditinggalkan oleh agregat dan filler. Kadar aspal 5,0% sampai 6,5% dari berat agregat menghasilkan nilai VFWA yang terus naik sampai dengan nilai maksimum sebesar 69,43%. Berdasarkan penelitian dan analisis data diperoleh nilai VFWA seperti pada gambar 5.7 berikut.



Gambar 5.7 Pengaruh Kadar Aspal Terhadap VFWA (AC-BC)

Spesifikasi VFWA minimum adalah sebesar 68%. Kadar aspal 6,0% sampai 8,0% dari berat agregat menunjukkan nilai VFWA terus naik mulai dari 62,02% sampai 78,32%. Kadar aspal 6,0% sampai 8,0% dari berat agregat menghasilkan nilai VFWA yang lebih besar dari 68%, kadar aspal 7,0% menghasilkan VFWA 74,98%. Berdasarkan penelitian dan analisis data diperoleh nilai VFWA seperti pada gambar 5.8.



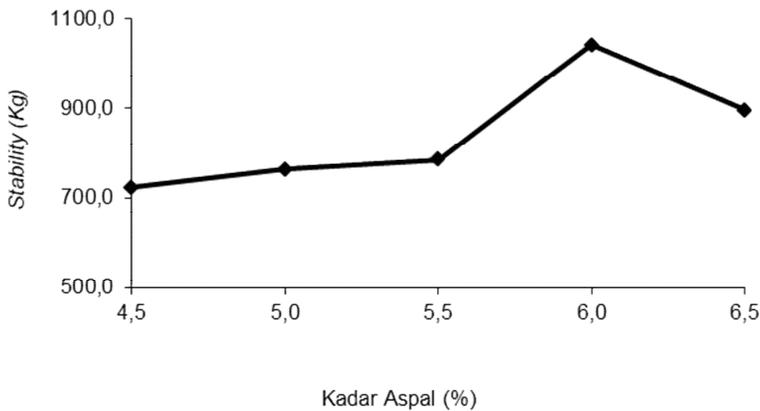
Gambar 5.8 Pengaruh Kadar Aspal Terhadap VFA (HRS-WC)

5. Pengaruh kadar aspal terhadap stabilitas (*stability*)

Stabilitas terjadi dari hasil gesekan antar butir, penguncian antar partikel, daya ikat yang kuat dari aspal dan kemampuan mempertahankan ikatannya (*kohesi*). Stabilitas yang tinggi dapat diperoleh dengan menggunakan agregat dengan gradasi yang rapat, agregat permukaan yang kasar, aspal dengan penetrasi rendah, dan kadar aspal yang optimum untuk mengikat antara butir-butir agregat. Stabilitas sangat berkaitan dengan jumlah rongga pada agregat dan kadar aspal yang mengisi rongga pada beton aspal campuran panas. Kebutuhan akan stabilitas setingkat dengan jumlah lalu lintas dan beban kendaraan yang akan memakai jalan tersebut. Jalan dengan volume lalu lintas tinggi dan sebagian besar merupakan kendaraan berat menuntut stabilitas yang tinggi, dibandingkan dengan jalan yang hanya terdiri dari kendaraan penumpang saja.

Nilai stabilitas minimum adalah sebesar 800 kg. Kadar aspal 4,5% sampai 6,0% dari berat agregat menunjukkan nilai stabilitas terus naik dan mencapai puncaknya pada kadar aspal 6,0%, hal ini disebabkan aspal menjadi pelumas yang menyelimuti butir-butir agregat secara merata yang menyebabkan bertambahnya sifat kohesi, sehingga bidang kontak antar agregat meningkat pada beton aspal campuran panas. Pada kadar aspal 6,5% dari berat agregat menunjukkan nilai stabilitas terus turun, hal ini disebabkan film

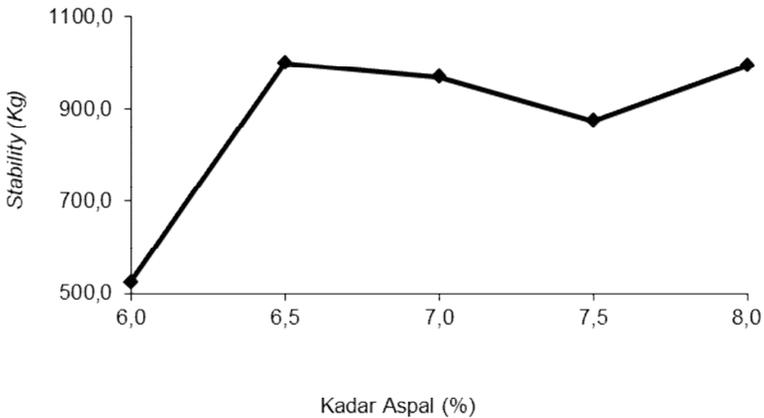
aspal menjadi sangat tebal sehingga fungsi aspal sebagai pelumas tidak terjadi melainkan menjadi pengisi rongga-rongga, repetisi beban lalu lintas menambah pemadatan lapisan perkerasan sehingga aspal akan keluar dari campuran (*bleeding*), membuat fungsi aspal sebagai perekat berubah menjadi pelicin yang akhirnya menurunkan stabilitas pada campuran. Nilai stabilitas hasil penelitian ditunjukkan pada gambar 5.9 berikut.



Gambar 5.9 Pengaruh Kadar Aspal Terhadap *Stability (AC-BC)*

Nilai stabilitas minimum adalah sebesar 800 kg. Kadar aspal 6,0% sampai 6,5% dari berat agregat menunjukkan nilai stabilitas naik dan mencapai puncaknya pada kadar aspal 6,5%, hal ini disebabkan aspal menjadi pelumas yang menyelimuti butir-butir agregat secara merata yang menyebabkan bertambahnya sifat kohesi, sehingga bidang kontak antar agregat meningkat pada beton aspal campuran panas. Kadar aspal lebih dari 7,0% sampai 8,0% dari berat agregat menunjukkan nilai stabilitas turun sedikit, hal ini disebabkan film aspal menjadi sangat tebal sehingga fungsi aspal sebagai pelumas tidak terjadi melainkan menjadi pengisi rongga-rongga, repetisi beban lalu lintas menambah pemadatan lapisan perkerasan sehingga aspal akan keluar dari campuran (*bleeding*), membuat fungsi aspal sebagai perekat berubah menjadi pelicin yang

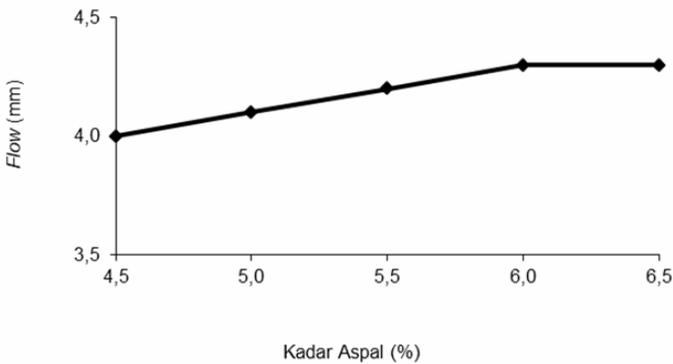
akhirnya menurunkan stabilitas pada campuran. Nilai stabilitas hasilpenelitian ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 5.10 Pengaruh Kadar Aspal Terhadap *Stability (HRS-WC)*

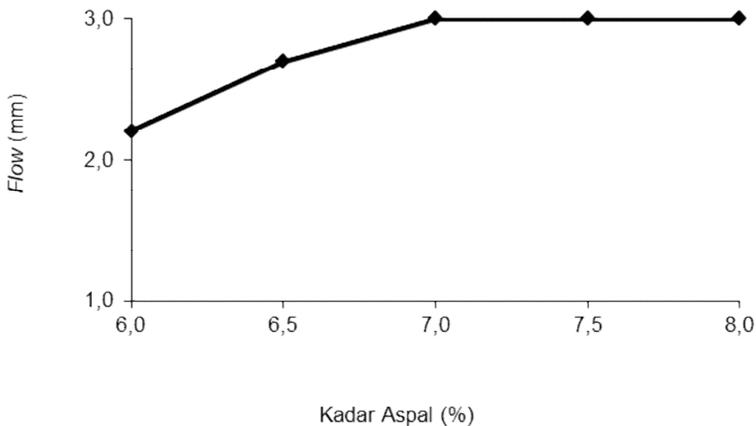
6. Pengaruh kadar aspal terhadap kelelahan (*flow*)

Besar dan kecilnyanilai kelelahan (*flow*) dari beton aspal campuran panas sangat ditentukan oleh kadar aspal. Semakin besar kadar aspal pada campuran maka nilai kelelahan akan makin besar, begitu juga sebaliknya. Kadar aspal yang besar membuat aspal menjadi pelicin bagi campuran. Hasilpenelitian menunjukkan nilai *flow* seperti pada gambar 5.11 dan 5.12 berikut.



Gambar 5.11 Pengaruh Kadar Aspal Terhadap *Flow (AC-BC)*

Nilai *flow* minimum adalah sebesar 2 mm. Kadar aspal 4,5% sampai dengan 6,5% dari berat agregat menunjukkan nilai *flow* terus naik dan mencapai puncaknya pada kadar aspal 6,5%, karena lapisan film aspal yang terbentuk akan menjadi lebih tebal dan fungsi aspal menjadi pelicin yang membuat campuran lebih kuat tidak cepat leleh, hal ini menaikkan nilai kelelehan atau *flow* dari campuran beton AC-WC tersebut.



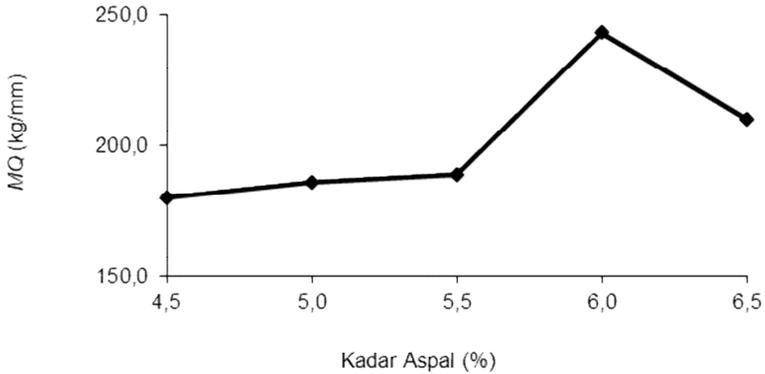
Gambar 5.12 Pengaruh Kadar Aspal Terhadap *Flow* (HRS-WC)

Nilai *flow* minimum adalah sebesar 3 mm. Kadar aspal 6,0% sampai dengan 8,0% dari berat agregat menunjukkan nilai *flow* terus naik dan mencapai puncaknya pada kadar aspal 7,0%, karena lapisan film aspal yang terbentuk akan menjadi lebih tebal dan fungsi aspal menjadi pelicin yang membuat campuran lebih kuat tidak cepat leleh, hal ini menaikkan nilai kelelehan atau *flow* pada campuran beton aspal HRS-WC.

7. Pengaruh kadar aspal terhadap *Marshall Quotient* (MQ)

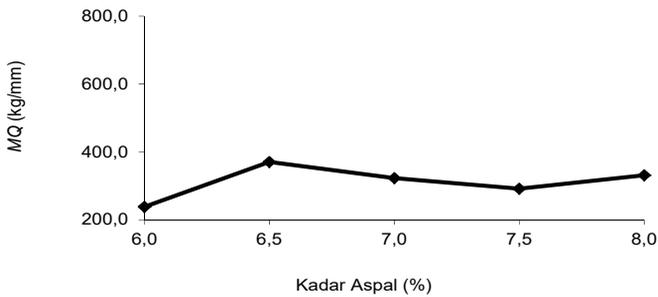
Marshall Quotient berupa hasil bagi dari stabilitas dengan nilai kelelehan (*flow*), yang dapat dipakai sebagai pendekatan terhadap tingkat kekakuan beton aspal campuran panas. Beton aspal campuran panas yang memiliki stabilitas tinggi dan *flow* rendah menunjukkan sifat beton aspal campuran panas kaku dan getas (*brittle*), sebaliknya beton aspal campuran panas yang memiliki

stabilitas rendah dan *flow* tinggi menunjukkan sifat beton aspal campuran panas cenderung plastis. Hasil penelitian menunjukkan nilai *Marshall Quotient* seperti pada gambar 5.13 dan 5.14 berikut.



Gambar 5.13 Pengaruh Kadar Aspal Terhadap *Flow* (AC-BC)

Nilai *Marshall Quotient* minimum adalah sebesar 200 kg. Kadar aspal 4,5% sampai 6,-% dari berat agregat menunjukkan nilai *Marshall Quotient* terus naik dan mencapai puncaknya pada kadar aspal 5,5%, hal ini disebabkan nilai stabilitas terus naik secara signifikan dan nilai *flow* naik secara perlahan. Kadar aspal 6,5% dari berat agregat menunjukkan nilai *Marshall Quotient* turun sedikit, hal ini disebabkan nilai stabilitas terus turun dan nilai *flow* tetap.

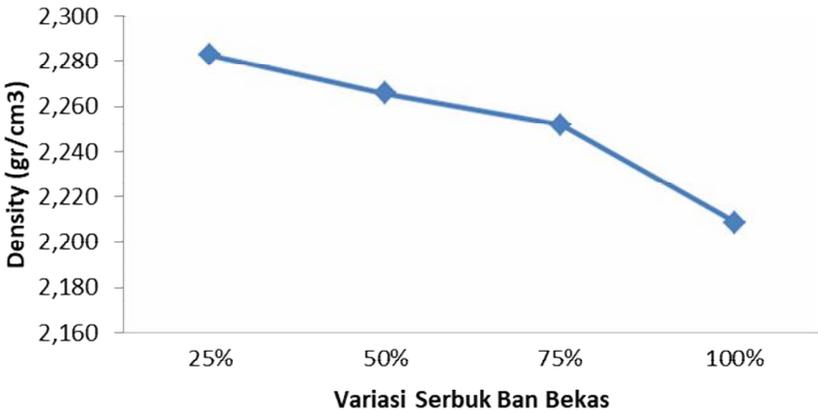


Gambar 5.14 Pengaruh Kadar Aspal Terhadap *Flow (HRS-WC)*

Nilai *Marshall Quotient* minimum adalah sebesar 250 kg. Kadar aspal 6,0% sampai 6,5% dari berat agregat menunjukkan nilai *Marshall Quotient* naik. Kadar aspal 7,0% sampai 8,0% dari berat agregat menunjukkan nilai *Marshall Quotient* terus turun sedikit, hal ini disebabkan nilai stabilitas turun sedikit dan nilai *flow* tetap.

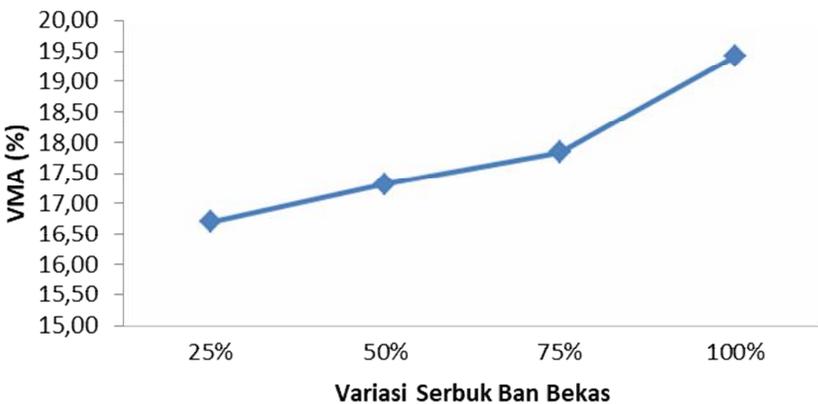
5.3 Karakteristik Penggunaan Serbuk Ban Bekas Campuran AC-BC

Penggunaan serbuk ban bekas sebagai pengganti agregat halus pada campuran panas aspal beton (AC-BC) dianalisis berdasarkan parameter Marshall meliputi *density*, VMA, VITM, VFWA, *Stability*, *Flow*, dan MQ sebagai berikut.



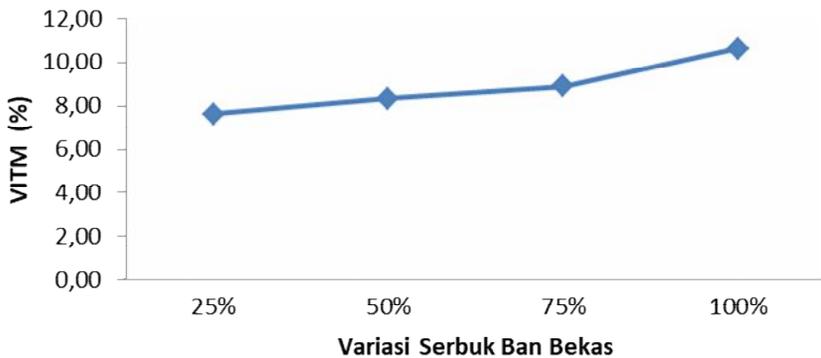
Gambar 5.15 Nilai *Density* dengan Variasi Serbuk Ban Bekas

Besarnya nilai *density* dari campuran aspal panas dengan variasi serbuk ban bekas dari 25% sampai dengan 100% adalah lebih kecil dari nilai *density* campuran aspal panas (AC-BC) tanpa menggantikan agregat halus dari batu dengan serbuk ban bekas yang sebesar 2,328 gr/cm³. Gambar 5.15 diatas memperlihatkan bahwa penambahan serbuk ban bekas pada campuran aspal panas akan menyebabkan nilai *density* semakin berkurang. Hal ini disebabkan sifat dari serbuk ban bekas yang elastis tidak keras dan kuat.



Gambar 5.16 Nilai VMA dengan Variasi Serbuk Ban Bekas

Volume pori dalam agregat campuran (*VMA = voids in the mineral aggregate*) adalah banyaknya pori diantara butir-butir agregat dalam beton aspal padat atau volume pori dalam beton aspal padat jika seluruh selimut aspal ditiadakan. VMA akan meningkat jika selimut aspal lebih tebal, atau agregat yang digunakan bergradasi terbuka, dari gambar 5.16 terlihat bahwa nilai VMA pada campuran aspal panas akan terus naik seiring bertambahnya kadar serbuk ban bekas. Naiknya nilai VMA ini disebabkan serbuk ban karet yang elastis dan kenyal tidak dapat mendesak masuk diantara pori-pori yang ditinggalkan oleh ikatan antar agregat. Sehingga semakin banyak kadar serbuk ban bekas akan semakin banyak rongga yang ada pada campuran aspal panas ini.



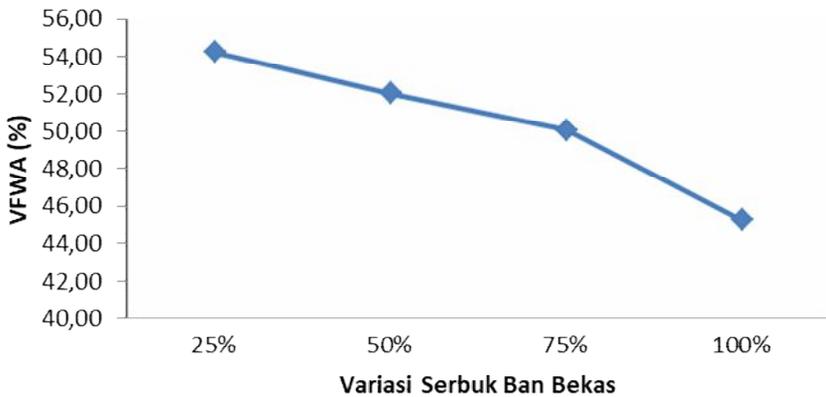
Gambar 5.17 Nilai VITM dengan Variasi Serbuk Ban Bekas

Banyaknya pori yang berada dalam beton aspal padat (*VITM = voids in the mix*) adalah banyaknya pori diantara butir-butir agregat yang diselimuti aspal yang masih tersisa setelah campuran beton aspal dipadatkan. Sebanding dengan nilai VMA yang semakin besar seiring dengan bertambahnya kadar serbuk ban bekas, maka nilai VITM juga semakin besar dengan bertambahnya serbuk ban bekas ini.

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini menunjukkan bahwa nilai VITM pada campuran aspal panas (AC-BC) adalah sangat besar 7,65% untuk serbuk ban bekas 25% sampai dengan 10,66% untuk serbuk ban bekas 100% (Gambar 5.17). Nilai ini tidak memenuhi

spesifikasi yang ditetapkan, karena untuk campuran AC-BC yang bernilai 4,9 – 5,9 untuk lalulintas kategori tinggi.

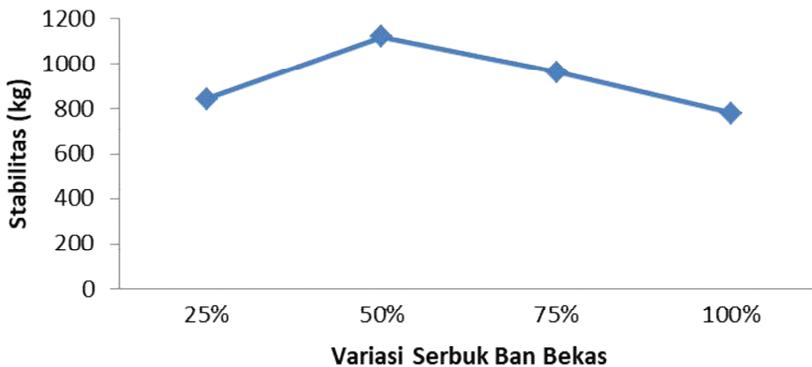
VITM yang dibutuhkan untuk tempat bergesernya butir-butir agregat, akibat pemadatan tambahan yang terjadi oleh repetisi beban lalulintas, atau tempat aspal jika aspal menjadi lunak akibat meningkatnya temperatur. Tetapi, pada kondisi campuran AC-BC dengan serbuk ban bekas sebagai pengganti agregat halus akan mengakibatkan beton aspal berkurang kedapannya (bersifat *porous*), sehingga air dan udara mudah memasuki rongga-rongga dalam campuran yang menyebabkan mudah teroksidasi dan akan mengurangi keawetannya atau berakibat meningkatnya proses oksidasi aspal yang dapat mempercepat penuaan aspal dan menurunkan sifat durabilitas beton aspal.



Gambar 5.18 Nilai VFWA dengan Variasi Serbuk Ban Bekas

Volume pori beton aspal padat (setelah mengalami proses pemadatan) yang terisi oleh aspal atau volume film/selimit aspal (*VFWA = voids filled with asphalt*), adalah bagian dari VMA terisi oleh aspal. Berdasarkan penelitian ini terdapat ternyata VMA yang besar tidak otomatis akan mengakibatkan nilai VFWA yang besar. Nilai VMA 16,71% - 19,42% tidak mengakibatkan naiknya nilai VFWA, malah mengakibatkan turunnya aspal yang mengisi rongga-rongga yang ada. Hal ini dikarenakan sifat serbuk ban karet yang seperti aspal, sehingga rongga-rongga yang terisi oleh serbuk ban bekas tidak akan terisi oleh aspal.

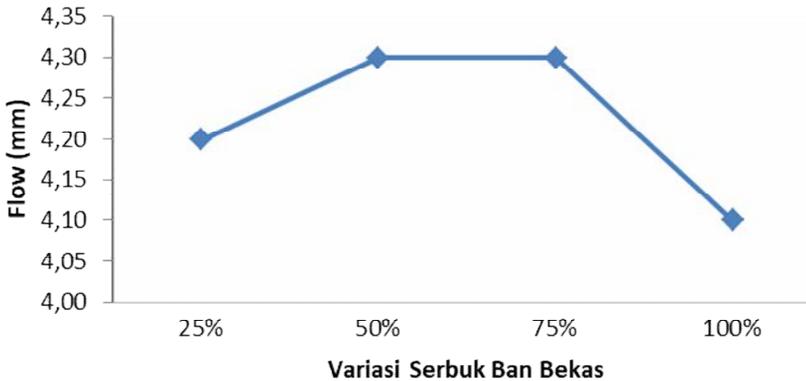
Nilai yang diperoleh dari penelitian ini menunjukkan bahwa VFWA pada campuran aspal panas (AC-BC) adalah sangat kecil 45,27% untuk serbuk ban bekas 100% sampai dengan 54,26% untuk serbuk ban bekas 25% (Gambar 5.18). Nilai ini tidak memenuhi spesifikasi untuk campuran AC-BC nilai VFWA adalah minimal 63%. Aspal yang seharusnya berfungsi untuk menyelimuti butir-butir agregat didalam beton aspal padat tidak akan tercapai, sehingga campuran aspal panas ini akan bersifat porous dan mudah teroksidasi. Hal ini akan mengurangi keawetan dari campuran aspal panas AC-BC yang menyebabkan akan cepat terjadinya kerusakan-kerusakan perkerasan jalan nantinya.



Gambar 5.19 Nilai *Stability* dengan Variasi Serbuk Ban Bekas

Stabilitas terjadi dari hasil gesekan antar butir, penguncian antar partikel, daya ikat yang kuat dari aspal dan kemampuan mempertahankan ikatannya (*kohesi*). Stabilitas yang tinggi dapat diperoleh dengan menggunakan agregat dengan gradasi yang rapat, agregat permukaan yang kasar, aspal dengan penetrasi rendah, dan kadar aspal yang optimum untuk mengikat antara butir-butir agregat. Stabilitas sangat berkaitan dengan jumlah rongga pada agregat dan kadar aspal yang mengisi rongga pada beton aspal campuran panas. Kebutuhan akan stabilitas setingkat dengan jumlah lalu lintas dan beban kendaraan yang akan memakai jalan tersebut. Jalan dengan volume lalu lintas tinggi dan sebagian besar merupakan kendaraan berat menuntut stabilitas yang tinggi, dibandingkan dengan jalan yang hanya terdiri dari kendaraan penumpang saja.

Nilai stabilitas minimum adalah sebesar 800 kg. Kadar aspal 5,5% dan kadar serbuk ban bekas 50% sebagai pengganti agregat halus menunjukkan nilai stabilitas tertinggi yaitu sebesar 1119 kg, hal ini disebabkan kadar serbuk ban bekas bersifat sebagai kohesi, sehingga bidang kontak antar agregat meningkat pada beton aspal campuran panas. Nilai stabilitas hasilpenelitian ditunjukkan pada gambar 5.19 diatas.



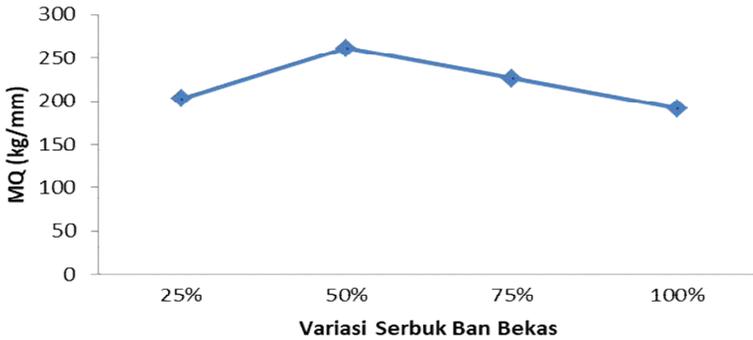
Gambar 5.20 Nilai *Flow* dengan Variasi Serbuk Ban Bekas

Flow adalah besarnya perubahan bentuk plastis dari beton aspal padat akibat adanya beban sampai batas keruntuhan. Nilai *flow* dipengaruhi oleh kadar aspal, viskositas aspal, gradasi agregat, dan temperatur pemadatan. Besarnya nilai *flow* diperoleh dari pembacaan arloji *flowmeter* saat melakukan pengujian Marshall.

Besar dan kecilnya nilai kelelahan (*flow*) dari beton aspal campuran panas sangat ditentukan oleh kadar aspal. Semakin besar kadar aspal pada campuran maka nilai kelelahan akan makin besar, begitu juga sebaliknya. Kadar aspal yang besar membuat aspal menjadi pelicin bagi campuran. Hasilpenelitian menunjukkan nilai *flow* seperti pada gambar 5.20 diatas.

Nilai *flow* minimum adalah sebesar 2 mm. Kadar aspal 5,5% dan kadar serbuk ban bekas 50% sebagai pengganti agregat halus menunjukkan nilai *flow* tertinggi yaitu sebesar 4,3 mm, hal ini disebabkan serbuk ban bekas yang ada berfungsi sebagai pelicin

yang membuat campuran lebih kuat tidak cepat lelah, hal ini menaikkan nilai *flow*.



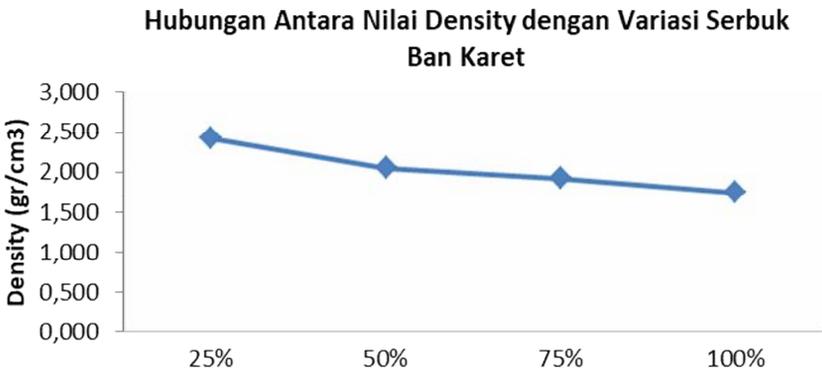
Gambar 5.21 Nilai *Flow* dengan Variasi Serbuk Ban Bekas

Marshall Quotient berupa hasil bagi dari stabilitas dengan nilai kelelahan (*flow*), yang dapat dipakai sebagai pendekatan terhadap tingkat kekakuan beton aspal campuran panas. Beton aspal campuran panas yang memiliki stabilitas tinggi dan *flow* rendah menunjukkan sifat beton aspal campuran panas kaku dan getas (*brittle*), sebaliknya beton aspal campuran panas yang memiliki stabilitas rendah dan *flow* tinggi menunjukkan sifat beton aspal campuran panas cenderung plastis. Hasil penelitian menunjukkan nilai *Marshall Quotient* pada gambar 5.21 diatas.

Nilai *Marshall Quotient* minimum adalah sebesar 200 kg. Kadar aspal 5,5% dan kadar serbuk ban bekas 50% sebagai pengganti agregat halus menunjukkan nilai MQ tertinggi yaitu sebesar 261 kg/mm, hal ini disebabkan nilai stabilitas yang sangat tinggi. Pada kadar asp-al 5,5% dan kadar serbuk ban bekas 100% sebagai pengganti agregat halus menunjukkan nilai MQ terendah yaitu sebesar 191 kg/mm (tidak memenuhi spesifikasi Depkimpraswil, 2002).

5.4 Karakteristik Penggunaan Serbuk Ban Bekas Campuran HRS-WC

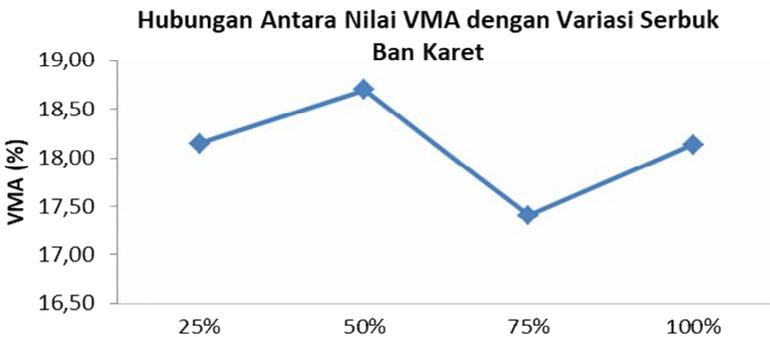
Penggunaan serbuk ban karet sebagai pengganti agregat halus pada campuran panas aspal HRS-WC dianalisis berdasarkan parameter *Marshall* adalah sebagai berikut.



Variasi Serbuk Ban Karet

Gambar 5.22 Nilai *Density* dengan Variasi Serbuk Ban Karet

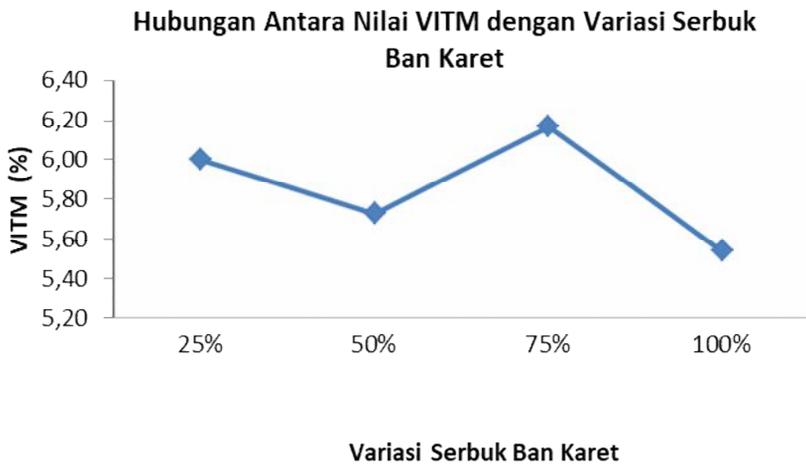
Nilai *density* dari campuran aspal panas dengan variasi serbuk ban karet dari 25% sampai dengan 100% adalah lebih kecil dari nilai *density* campuran aspal panas (HRS-WC) tanpa menggantikan agregat halus dari batu dengan serbuk ban karet, kecuali pada serbuk ban karet sebesar 25% nilai *density* adalah 2,425 gr/cm³ seperti pada gambar 5.22. Penambahan serbuk ban karet bekas dengan persentase >25% mengakibatkan nilai *density* semakin berkurang. Hal ini disebabkan sifat dari serbuk ban karet yang elastis tidak keras dan kuat.



Variasi Serbuk Ban Karet

Gambar 5.23 Nilai VMA dengan Variasi Serbuk Ban Karet

VMA dikenal dengan istilah *voids in the mineral aggregate* atau dalam bahasa Indonesia ialah volume pori dalam agregat campuran adalah banyaknya pori diantara butir-butir agregat dalam campuran HRS-WC atau volume pori dalam beton aspal padat jika seluruh selimut aspal ditiadakan. VMA akan meningkat jika selimut aspal lebih tebal, atau agregat yang digunakan bergradasi terbuka, dari gambar 5.23 terlihat bahwa nilai VMA pada campuran aspal panas akan terus turun seiring bertambahnya kadar serbuk ban karet, kecuali pada serbuk ban karet sebesar 75%. Turunnya nilai VMA ini disebabkan serbuk ban karet mengisi rongga-rongga campuran panas HRS-WC karena mempunyai gradasi agregat yang senjang. Pada kadar serbuk ban karet 25%, 50% dan 100% nilai VMA memenuhi spesifikasi teknik, sedangkan pada kadar serbuk ban karet 75% nilai VMA tidak memenuhi spesifikasi teknik.

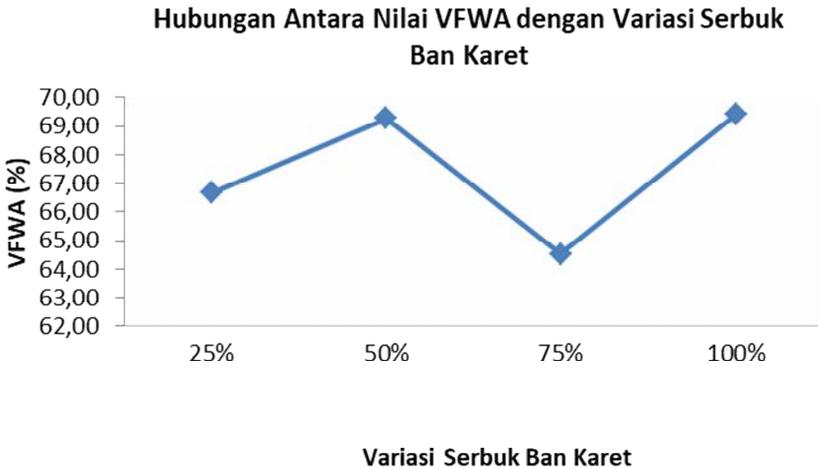


Gambar 5.24 Nilai VITM dengan Variasi Serbuk Ban Karet

VITM atau *void in the mix* adalah banyaknya pori diantara butir-butir agregat yang diselimuti aspal yang masih tersisa setelah campuran HRS-WC dipadatkan. Berbeda dengan nilai VMA yang semakin kecil seiring dengan bertambahnya kadar serbuk ban karet, nilai VITM akan semakin besar dengan bertambahnya serbuk ban karet ini, kecuali pada serbuk ban karet 75% nilai VITM akan turun

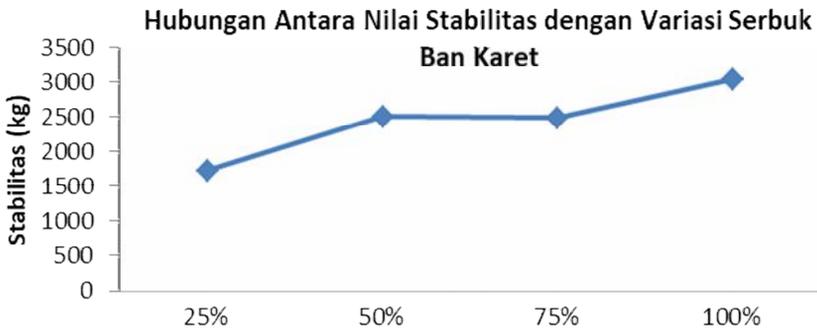
sementara nilai VMA naik (gambar 5.24). Nilai VITM campuran HRS-WC ini keseluruhannya memenuhi spesifikasi teknik.

VFWA atau *voids filled with asphalt* adalah volume pori HRS-WC padat (setelah mengalami proses pemadatan) yang terisi oleh aspal atau volume film/selimut aspal berupa bagian dari VMA terisi oleh aspal.



Gambar 5.25 Nilai VFWA dengan Variasi Serbuk Ban Karet

Penelitian ini menunjukkan bahwa pada VITM yang kecil nilai VFWA akan meningkat, hal ini disebabkan serbuk ban karet mengisi rongga yang terbentuk dalam campuran HRS-WC (gambar 5.25). VFWA campuran HRS-WC untuk serbuk ban karet 50% adalah 69,28% (tertinggi) dan serbuk ban karet 100% adalah 69,42%, sementara untuk serbuk ban karet 25% dan 75% tidak memenuhi batas minimal spesifikasi yang disyaratkan, untuk campuran HRS-WC nilai VFWA adalah minimal 68%. Aspal yang seharusnya berfungsi untuk menyelimuti butir-butir agregat didalam campuran HRS-WC tercapai, sehingga campuran ini akan bersifat porous dan mudah teroksidasi. Hal ini akan mengurangi keawetan dari campuran HRS-WC yang menyebabkan akan cepat terjadinya kerusakan-kerusakan perkerasan jalan nantinya.



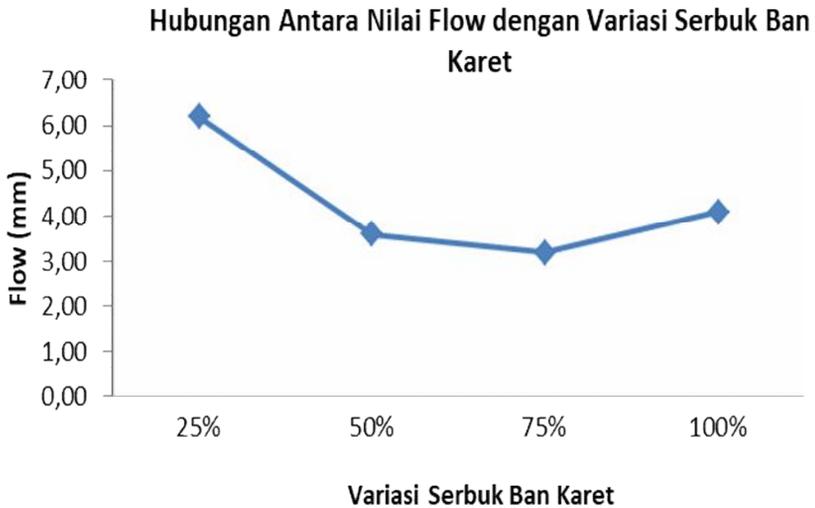
Variasi Serbuk Ban Karet

Gambar 5.26 Nilai *Stability* dengan Variasi Serbuk Ban Karet

Kebutuhan akan stabilitas setingkat dengan jumlah lalu lintas dan beban kendaraan yang akan memakai jalan tersebut. Jalan dengan volume lalu lintas tinggi dan sebagian besar merupakan kendaraan berat menuntut stabilitas yang tinggi, dibandingkan dengan jalan yang hanya terdiri dari kendaraan penumpang saja atau kendaraan ringan.

Stabilitas terjadi dari hasil gesekan antar butir, penguncian antar partikel, daya ikat yang kuat dari aspal dan kemampuan mempertahankan ikatannya (*kohesi*). Stabilitas yang tinggi dapat diperoleh dengan menggunakan agregat permukaan yang kasar, aspal dengan penetrasi rendah, dan kadar aspal yang optimum untuk mengikat antara butir-butir agregat. Stabilitas sangat berkaitan dengan jumlah rongga pada agregat dan kadar aspal yang mengisi rongga pada HRS-WC.

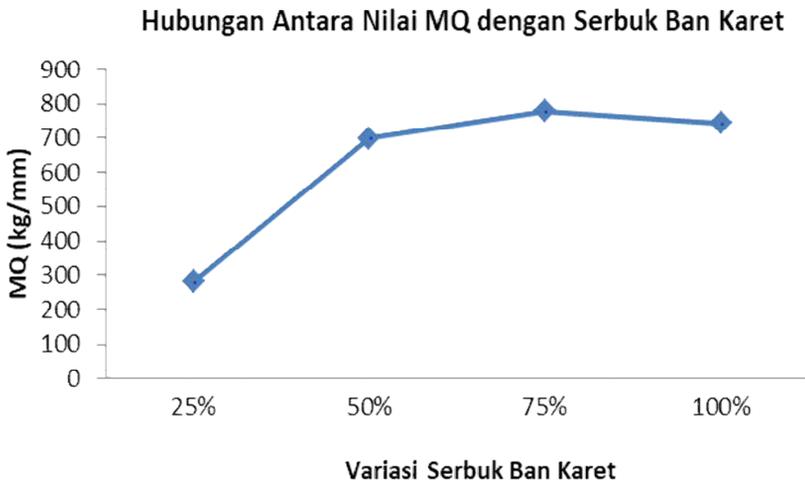
Nilai stabilitas minimum adalah sebesar 800 kg. Kadar aspal 7,5% dan kadar serbuk ban karet 100% sebagai pengganti agregat halus menunjukkan nilai stabilitas tertinggi yaitu sebesar 3050 kg, hal ini disebabkan kadar serbuk ban karet bersifat sebagai kohesi, sehingga bidang kontak antar agregat meningkat pada beton aspal campuran panas. Nilai stabilitas hasil penelitian ditunjukkan pada gambar 5.26 diatas.



Gambar 5.27 Nilai *Flow* dengan Variasi Serbuk Ban Karet

Besar dan kecilnya nilai kelelahan (*flow*) dari beton aspal campuran panas sangat ditentukan oleh kadar aspal. Semakin besar kadar aspal pada campuran maka nilai kelelahan akan makin besar, begitu juga sebaliknya. Kadar aspal yang besar membuat aspal menjadi pelicin bagi campuran. Hasil penelitian menunjukkan nilai *flow* seperti pada gambar 5.27 diatas.

Nilai *flow* minimum adalah sebesar 2 mm. Kadar aspal 7,5% dan kadar serbuk ban karet 100% sebagai pengganti agregat halus menunjukkan nilai *flow* tertinggi yaitu sebesar 6,2 mm, dan dengan serbuk ban karet 50% menggantikan agregat halus yang lolos saringan #30 dan tertahan #50 masih dalam batas yang diizinkan yaitu sebesar 3,6 mm, disebabkan oleh serbuk ban karet yang berfungsi sebagai pelicin yang membuat campuran lebih kuat tidak cepat leleh, sehingga menaikkan nilai *flow*.



Gambar 5.28 Nilai MQ dengan Variasi Serbuk Ban Karet

Marshall Quotient berupa hasil bagi dari stabilitas dengan nilai kelelahan (*flow*), yang dapat dipakai sebagai pendekatan terhadap tingkat kekakuan campuran panas HRS-WC. Nilai *Marshall Quotient* berdasarkan syarat minimum adalah sebesar 200 kg. Kadar aspal 7,5% dan kadar serbuk ban karet 50% sebagai pengganti agregat halus menunjukkan nilai MQ sebesar 699 kg/mm (gambar 5.28).

•

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, pembahasan, dan teori-teori yang ada dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Kadar aspal optimum ditetapkan sebesar 5,5% dari berat agregat, karena mempunyai nilai parameter Marshall yang paling optimum untuk campuran beton aspal AC-BC.
2. Penggunaan serbuk ban bekas sebesar 50% sebagai pengganti agregat halus dari batu pecah yang lolos saringan #30 dan tertahan #50 adalah yang paling baik, dikarenakan nilai *stability*, *flow*, MQ, VMA memenuhi spesifikasi untuk campuran beton aspal AC-BC.
3. Penggunaan serbuk ban bekas sebagai pengganti agregat halus belum dapat digunakan karena nilai VITM dan VFWA yang ditentukan berdasarkan spesifikasi belum terpenuhi untuk campuran beton aspal.
4. Kadar aspal optimum yang diperoleh adalah 7,5% berdasarkan material agregat kasar dan halus tanpa menggantikan agregat halus yang lolos saringan #30 dan tertahan #50 dengan serbuk ban karet untuk campuran beton aspal HRS-WC.
5. Penggunaan serbuk ban karet sebesar 50% sebagai pengganti agregat halus dari batu pecah yang lolos saringan #30 dan tertahan #50 adalah yang paling baik, dikarenakan memenuhi spesifikasi untuk campuran beton aspal HRS-WC.
6. Penggunaan serbuk ban karet sebagai pengganti agregat halus belum dapat digunakan karena adanya nilai timbang pada penelitian ini, yaitu pada penggunaan serbuk ban karet 75% untuk campuran beton aspal HRS-WC.

6.2. Saran

Periode penelitian “Studi Karakteristik Penggunaan Serbuk Ban Bekas (Perkerasan AC dan HRS)” ini sangat terbatas hanya pada

parameter Marshall dan sifat volumetrik, untuk itu perlu kiranya dilakukan penelitian lebih lanjut yang berhubungan dengan keawetan campuran beton aspal.

1. Perlu kiranya dilakukan penelitian terus menerus tentang penggunaan serbuk ban karet sebagai pengganti agregat halus dari batu, sehingga diperoleh formula yang paling optimum untuk menggantikan agregat halus dengan serbuk ban karet.
2. Adanya nilai timpang volumetrik pada penggunaan serbuk ban karet 75%, sehingga perlu penelitian lebih lanjut mengenai hal tersebut.
3. Perlu kiranya dilakukan penelitian terus menerus tentang penggunaan serbuk ban bekas sebagai pengganti agregat halus dari batu, sehingga diperoleh formula yang paling optimum untuk menggantikan agregat halus dengan serbuk ban bekas.
4. Perlu kiranya dilakukan penelitian tentang susunan kimia dari serbuk ban bekas setelah dicampur dengan aspal dan agregat batu pecah.

•

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO, 1986, *Guide for Design of Pavement Structures*, 444n. Capital Street, N.W., Suite 225, Washington, D. C. 20001
- Asphalt Institute, 2001, *Construction of Hot Mix Asphalt Pavement*, Manual Series No.22 (MS-22), Second Edition, Lexington, Kentucky, USA.
- Asphalt Institute, 1997, *Mix Design Methodes For Asphalt Concrete and Other Hot-Mix Types*, Manual Series No.2 (MS-2), Sixth Edition, Lexington, Kentucky, USA.
- Asphalt Institute, 2001, *Introduction to Asphalt*, Manual Series No.5, Eighth Edition, USA.
- Fithra, H., 2011, *Analysis Pavement Performance Caused by The Overloading Trucks in East Coastal Highway Aceh Province*, Proceedings of The Aceh Development International Conference (ADIC), The National University of Malaysia.
- Fithra, H., 2011, *Hubungan Umur Perancangan dengan Beban berlebih pada Truk di Jalan Pesisir Timur Propinsi Aceh*, Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Fithra, H., 2014, *Karakteristik Campuran Perkerasan Semi Lentur Yang Ditinjau dari Uji Durabilitas*, Jurnal Teras, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh.
- Fithra, H., 2015, *Konsistensi DMF, JMF, dan Trial Mix AC-BC Pada Jalan Krueng Geukueh – Beureughang Kabupaten Aceh Utara*, Seminar Nasional Teknik Sipil XI, Institut Teknologi Sebelah Maret, Surabaya
- Fithra, H., 2011, *Karakteristik Penggunaan Serbuk Ban Bekas pada Campuran Panas Asphalt Concrete Binder Coarse*, Jurnal Teras, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh.
- Fithra, H., 2017, *Pengaruh Jumlah Tumbukan Pada Campuran Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) Tamahan Lateks Terhadap*

Sifat Marshall, Jurnal Teras, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh.

Fithra, H., 2010, *Pengaruh Penggunaan Serbuk Ban Karet Sebagai Pengganti Agregat Halus pada Campuran Aspal (HRS - WC)*, Jurnal Saintek, Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh

Fithra, H., 2017, *Perbandingan Penilaian Penurunan Indek Permukaan Perkerasan Jalan Metode PCI dan Bina Marga*, International Conference ADIC, Universitas Islam Antar Bangsa, Malaysia.

Sukirman, S., 2003, *Beton Aspal Campuran Panas*, Edisi pertama, Granit, Jakarta.

Sukirman, S., 1992, *Perkerasan Lentur Jalan Raya*, Penerbit Nova, Bandung.

Suparma, L. B., 2005, *Bahan Konstruksi*, Catatan Kuliah MSTT, Penerbit MSTT, UGM, Yogyakarta.

Totomihardjo, S., 2004, *Bahan dan Struktur Jalan Raya*, Biro Penerbit KMTS FT UGM, Yogyakarta.

•

RIWAYAT PENULIS



Dosen mempunyai tugas pokok sebagai tenaga pengajar dan berkewajiban melaksanakan tridharma perguruan tinggi, yang salah satunya adalah menulis buku. Baik berupa buku ajar, buku referensi maupun buku monograf. Penulis saat ini adalah dosen tetap bidang transportasi dan perencanaan pada Program Studi Teknik Sipil dan Program Studi Administrasi Publik universitas Malikussaleh. Penulis anak dari Ismail Bantasyam dan Azmarni, yang lahir di Lhokseumawe, 7 Nopember 1972. Menghabiskan waktu untuk belajar di kota kelahirannya Lhokseumawe, sebelum melanjutkan Pendidikan Sarjana di kota Medan.

Mata kuliah yang diampu meliputi Rakayasa Transportasi (2 sks), Rakayasa Jalan (2 sks), Bahan dan Perkerasan Jalan (2 sks) di Fakultas Teknik. Mata kuliah yang diampu di Program Adminstrasi Publik S1 adalah Pembangunan dan Globalisasi (3 sks) serta Perencanaan Pembangunan (3 sks). Pada Program Pascasarjana Administrasi Publik adalah mata kuliah Perencanaan Pembangunan daerah (3 sks) dan Teori dan Isu Pembangunan (3 sks) serta membimbing mahasiswa melaksanakan praktikum dan melakukan penelitian.

Kemampuan praktisi sangat dibutuhkan untuk dapat mengajarkan hal-hal baru sesuai dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan aplikasi di lapangan. Kemampuan dosen memahami dan mengkolaborasikan antara teori dan aplikasi lapangan, akan memberikan pemahaman yang lebih komprehensif kepada mahasiswa. Sehingga akan sangat memudahkan mahasiswa memahami yang diajarkan dalam kelas dan hubungannya di lapangan.

Menempuh pendidikan Sarjana Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara tahun 1994 - 1998. Pascasarjana Magister Sistem dan Teknik Transportasi di Universitas Gadjah Mada

2004 - 2005. Menyelesaikan Program Doktorat pada Program Studi Perencanaan Wilayah Sekolah Pascasarjana Universitas Malikussaleh 2014 - 2018. Penulis juga masih melaksanakan Pendidikan Doktorat dalam bidang Ekonomi Pembangunan di Universitas Terengganu Malaysia. Penulis aktif melaksanakan penelitian dan pengabdian masyarakat serta menulis pada beberapa jurnal yang terbit secara nasional dan prosiding internasional. Saat ini penulis terlibat dan sebagai pengurus Persatuan Insinyur Indonesia.

Dalam menjalankan profesi dosen di Program Studi Teknik Sipil, penulis mendapat kepercayaan pada tahun 2008 - 2010 sebagai Sekretaris Program Studi Teknik Sipil dan pada tahun 2010 - 2012 sebagai Kepala Laboratorium Teknik Sipil. Pada Tahun 2012-2016 sebagai Pembantu Dekan Bidang Akademik Fakultas Teknik. Pada Tahun 2016 - 2019 sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh dan sekarang dipercaya sebagai Rektor Universitas Malikussaleh di Aceh Utara.

•