

PROPERTIES BAHAN DAN **CAMPURAN BERASPAL PANAS**

Salah satu jenis material yang digunakan untuk membangun jalan adalah campuran beraspal panas. Campuran beraspal panas adalah campuran dari agregat kasar, agregat halus, dan aspal yang telah dipanaskan untuk memudahkan proses pengaliran dan pengisian ke dalam cetakan.

Salah satu jenis material yang digunakan untuk membangun jalan adalah campuran beraspal panas. Campuran beraspal panas adalah campuran dari agregat kasar, agregat halus, dan aspal yang telah dipanaskan untuk memudahkan proses pengaliran dan pengisian ke dalam cetakan.

Salah satu jenis material yang digunakan untuk membangun jalan adalah campuran beraspal panas. Campuran beraspal panas adalah campuran dari agregat kasar, agregat halus, dan aspal yang telah dipanaskan untuk memudahkan proses pengaliran dan pengisian ke dalam cetakan.



Dr. Djoko Wicakjati, M.Sc, M.Eng,Sc

PROPERTIES BAHAN DAN **CAMPURAN BERASPAL PANAS**

PROPERTIES BAHAN DAN **CAMPURAN BERASPAL PANAS**





PROPERTIS BAHAN DAN CAMPURAN BERASPAL PANAS

Dr. Djoko Widajat, M.Sc.

Ir. Nono, M.Eng.Sc.



INFORMATIKA
Bandung

PROPERTIS BAHAN DAN CAMPURAN BERASPAL PANAS

Desember, 2011

Cetakan ke-1, 2011, (xiv + 90 halaman)

©Pemegang Hak Cipta Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan

No.ISBN : 978-602-8758-64-2
Kode Kegiatan : 04-PPK3-01-143-11
Kode Publikasi : IRE – TR – 044 / ST / 2011
Kata kunci : Bahan, campuran, beraspal panas, spesifikasi, *anti stripping*, *superpave*, *performance grade*

Penulis:

Dr. Djoko Widajat, M.Sc.
Ir. Nono, M.Eng.Sc.

Editor:

Prof(R). Dr. Ir. M. Sjahdanulirwan, M.Sc.
Ir. Nyoman Suaryana, M.Sc.

Naskah ini disusun dengan sumber dana APBN Tahun 2011, pada paket pekerjaan Penyusunan Naskah Ilmiah Litbang Teknologi Perkerasan Lentur (Kajian properties dan toleransi campuran beraspal panas dan dingin serta tentang aspal Performance Grade).

Pandangan yang disampaikan di dalam publikasi ini tidak menggambarkan pandangan dan kebijakan Kementerian Pekerjaan Umum, unsur pimpinan, maupun institusi pemerintah lainnya.

Kementerian Pekerjaan Umum tidak menjamin akurasi data yang disampaikan dalam publikasi ini, dan tanggung jawab atas data dan informasi sepenuhnya dipegang oleh penulis.

Kementerian Pekerjaan Umum mendorong percetakan dan memperbanyak informasi secara eksklusif untuk perorangan dan pemanfaatan nonkomersil dengan pemberitahuan yang memadai kepada Kementerian Pekerjaan Umum. Pengguna dibatasi dalam menjual kembali, mendistribusikan atau pekerjaan kreatif turunan untuk tujuan komersil tanpa izin tertulis dari Kementerian Pekerjaan Umum.

Diterbitkan oleh:

Penerbit Informatika - Bandung

Pemesanan melalui:

Perpustakaan Puslitbang Jalan dan Jembatan
info@pusjatan.pu.go.id

TENTANG PUSLITBANG JALAN DAN JEMBATAN

Puslitbang Jalan dan Jembatan (Pusjatan) adalah institusi riset yang dikelola oleh Badan Litbang Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia. Lembaga ini mendukung Kementerian PU dalam menyelenggarakan jalan dengan memastikan keberlanjutan keahlian, pengembangan inovasi dan nilai – nilai baru dalam pengembangan infrastruktur.

Pusjatan memfokuskan kepada penyelenggara jalan di Indonesia, melalui penyelenggaraan litbang terapan untuk menghasilkan inovasi teknologi bidang jalan dan jembatan yang bermuara pada standar, pedoman, dan manual. Selain itu, Pusjatan mengemban misi untuk melakukan advis teknik, pendampingan teknologi, dan alih teknologi yang memungkinkan infrastruktur Indonesia menggunakan teknologi yang tepat guna.

KEANGGOTAAN TIM TEKNIS DAN SUBTIM TEKNIS

TIM TEKNIS:

1. Prof (R) Dr. Ir. M. Sjahdanulirwan, M.Sc.
2. Ir. Agus Bari Sailendra. MT
3. Ir. I. Gede Wayan Samsi Gunarta, M.Appl.Sc

4. Prof (R) Dr. Ir. Furqon Affandi, M.Sc.
5. Prof (R) Ir. Lanneke Tristanto, APU
6. Ir. GJW Fernandez
7. Ir. Soedarmanto Darmonegoro
8. DR. Djoko Widayat, MSc.

SUBTIM TEKNIS:

1. Ir. Nyoman Suaryana, M.Sc.
2. Prof (R) Dr. Ir. M. Sjahdanulirwan, M.Sc.
3. Prof (R) Dr. Ir. Furqon Affandi, M.Sc.
4. Dr. Djoko Widayat, M.Sc.
5. Ir. Kurniadji, MT.
6. Dr. Ir. Siegfried, M.Sc.
7. Dr. Ir. Anwar Yamin, M.Sc.



Kata Pengantar

Kajian ini merupakan hasil penelitian dan pengembangan yang meninjau tentang sifat bahan dan campuran yang digunakan dalam campuran beraspal panas. Agregat dan aspal merupakan bahan pokok yang dapat menentukan kinerja dari campuran beraspal panas sehingga kualitas bahan harus memenuhi kriteria yang disyaratkan dan secara terus menerus dikendalikan.

Sebagai pedoman dalam perencanaan serta pelaksanaan pekerjaan campuran beraspal panas diberikan batasan kriteria yang tertuang dalam spesifikasi pekerjaan. Dalam rangka menjawab tentang beberapa isu yang timbul seperti peningkatan beban lalu- lintas, terbatasnya bahan campuran yang ada, curah hujan yang tinggi, temperatur serta kemajuan teknologi dalam bidang campuran beraspal panas maka beberapa nilai dalam spesifikasi perlu dievaluasi dan disempurnakan.

Litbang memberikan gambaran tentang penggunaan bahan *anti stripping* dalam campuran dan pengaruh penambahan tersebut terhadap ketahanan campuran akibat pengaruh air yang dinyatakan dalam suatu nilai *Marshall Stability Retained* dan *Indirect Tensile Strength Retained*. Penambahan bahan ini berkaitan dengan adanya upaya untuk meningkatkan ketahanan

campuran terhadap pengaruh air, sehingga kerusakan dini dapat dicegah dan umur perkerasan yang menggunakan campuran beraspal panas dapat lebih tahan lama.

Kajian juga membahas tentang perencanaan penentuan kadar aspal berdasarkan metode superpave menggunakan pemadat giratori yang telah digunakan sebagai dasar perencanaan campuran beraspal panas di beberapa negara.

Tulisan ini merupakan bagian dari hasil penelitian dan pengembangan Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan (PUSJATAN) tahun anggaran 2011 dengan judul Kajian properties dan toleransi campuran beraspal panas dan dingin serta tentang aspal *Performance Grade*.

Isi dari kajian ini diharapkan dapat digunakan sebagai masukan bagi para praktisi bidang material dan perkerasan jalan, peneliti dan para ahli lainnya khususnya yang tertarik dalam konstruksi dan kinerja campuran beraspal panas.



Daftar Isi

Kata Pengantar	v
Daftar Isi	vii
Daftar Tabel.....	xi
Daftar Gambar.....	xii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
BAB 2. PROPERTIS BAHAN CAMPURAN BETON ASPAL	5
2.1 Agregat	5
2.1.1 Ukuran Butir dan Gradasi	6
2.1.2 Bentuk Agregat dan Kekasaran Permukaan serta Angularitas.....	7
2.1.3 Penyerapan Agregat.....	8
2.1.4 Kekerasan Agregat	8
2.1.5 Kelekatan	9
2.1.6 Sifat Agregat Lolos Ayakan No.200 (0,074 mm)	9
2.1.7 Setara Pasir (<i>sand equivalent</i>).....	10
2.2 Aspal	10
2.2.1 Aspal <i>Penetration Grade</i>	11
2.2.2 <i>Viscosity Grade</i> (Kekentalan).....	11

2.2.3	Aspal <i>Performance Grade</i> (PG).....	12
2.2.3.1	Penyesuaian Pemilihan Klasifikasi Aspal PG Berdasarkan Kecepatan Kendaraan dan Waktu Pembebanan (<i>traffic loading</i>). 13	
2.2.3.2	Pengujian Aspal Metode <i>Performance Grade</i> (PG)	13
BAB 3.	DAYA TAHAN CAMPURAN BERASPAL PANAS TERHADAP PENGARUH RENDAMAN AIR.....	17
3.1	Umum.....	17
3.2	Anti pengelupasan (<i>stripping</i>).	18
BAB 4.	RANCANGAN CAMPURAN METODE SUPERPAVE DENGAN GYROPAC	21
4.1	Sifat-sifat Campuran Padat Menurut Volume	21
4.2	Rancangan campuran metode Superpave	22
4.2.1	Umum.....	22
4.2.2	Penyeleksian Agregat dan Gradasi Agregat Campuran	23
4.2.2.1	Karakteristik Agregat.....	23
4.2.2.2	Gradasi Agregat.....	23
4.2.3	<i>Superpave Design Gyratory Compactive Effort</i>	27
4.2.4	Kajian tentang Metode Perencanaan Superpave dengan <i>Gyratory Compactor</i>	29
4.2.5	Kriteria Campuran	31
BAB 5.	CAMPURAN BETON ASPAL.....	33
5.1	Jenis Campuran Beraspal Panas (<i>Hot Mix</i>)	33
5.2	Kinerja Campuran Beton Aspal	33
5.3	Sifat-sifat Campuran Padat Menurut Volume	35
5.4	Spesifikasi Umum.....	35
5.4.1	Umum.....	35
5.4.2	Karakteristik Agregat.....	36
5.4.3	Karakteristik Aspal.....	37
5.4.4	Penyeleksian Kadar Aspal Rencana	39
5.4.5	Karakteristik Campuran.....	39

BAB 6. HASIL KAJIAN LABORATORIUM	43
6.1 Hasil Pengujian Agregat	43
6.2 Hasil Pengujian Aspal	45
6.2.1 Hasil Pengujian Aspal Berdasarkan <i>Penetration Grade</i>	45
6.2.2 Hasil Pengujian Aspal Metode <i>Performance Grade</i> (PG)	46
6.3. Hasil Pengujian Bahan dan Campuran Dengan Anti <i>Stripping</i>	47
6.3.1 Propertis Bahan Tambah Anti <i>Stripping</i>	48
6.3.2 Uji Kelekatan Aspal dan Anti <i>Stripping</i> terhadap Agregat	49
6.4 Tahapan Rancangan Campuran Beraspal dengan Metode Superpave.....	62
6.5 Hasil Pengujian Campuran Beton Aspal di Laboratorium	73
6.6 Pembahasan Hasil Kajian	76
6.6.1 Karakteristik Agregat dan Gradasi Agregat Campuran	77
6.6.2 Karakteristik Aspal.....	78
6.6.3 Karakteristik Campuran.....	78
6.7 Karakteristik Bahan dan Campuran Beraspal Panas yang Diusulkan	80
BAB 7. KESIMPULAN DAN SARAN	85
7.1 Kesimpulan.....	85
7.2 Saran	87
DAFTAR PUSTAKA	89



Daftar Tabel

Tabel 2.1	Grade aspal berdasarkan kecepatan dan level lalu-lintas..	13
Tabel 2.2	Peralatan dan kegunaan pengujian aspal PG	14
Tabel 4.1	Metode pemadatan laboratorium campuran beraspal panas	22
Tabel 4.2	Persyaratan agregat sesuai spesifikasi Superpave	23
Tabel 4.3	Titik-titik kontrol gradasi agregat (AASHTO M 323-07).....	25
Tabel 4.4	Klasifikasi gradasi (AASHTO M 323-07)	25
Tabel 4.5	Jumlah Girasi Rencana (Ndesign)	28
Tabel 4.6	Persyaratan karakteristik campuran beraspal panas berdasarkan spesifikasi superpave.....	31
Tabel 5.1	Ketentuan agregat kasar	36
Tabel 5.2	Ketentuan agregat halus	37
Tabel 5.3	Ketentuan gradasi agregat gabungan	37
Tabel 5.4	Ketentuan-ketentuan untuk Aspal Keras	38
Tabel 5.5	Ketentuan sifat campuran Latasir	39
Tabel 5.6	Ketentuan sifat campuran Laston	40
Tabel 5.7	Ketentuan sifat campuran Laston	40
Tabel 5.8	Ketentuan sifat campuran Laston Dimodifikasi (AC Mod) .	40
Tabel 6.1	Hasil pengujian agregat untuk campuran beton aspal (Quarry Majalengka)	43
Tabel 6.2	Hasil pengujian agregat untuk campuran beton aspal (quarry Sw)	44
Tabel 6.3	Mutu Aspal Keras Pen 60 hasil uji	45
Tabel 6.4	Nilai $G^*/\sin\delta$ beberapa jenis aspal	47
Tabel 6.5	Propertis anti <i>stripping</i>	48
Tabel 6.6	Aspal pen 60/70 + 0% s.d. 0.7% aditif (anti <i>stripping</i> B)	49
Tabel 6.7	Pengujian efektifitas penambahan anti <i>stripping</i> pada MC 70 melalui uji kelekatan aspal terhadap batu <i>silica</i> dan batu andesit. Jenis anti <i>stripping</i> A	50
Tabel 6.8	Nilai kelekatan dengan penambahan anti <i>stripping</i> A 0% hingga 0,60% dengan aspal pen 60, jenis agregat batu kapur .	51

Tabel 6.9	Nilai kelekatan dengan penambahan anti stripping B 0% hingga 0,60% dengan aspal pen 60	53
Tabel 6.10	Nilai kelekatan aspal dengan variasi perendaman awal hingga 139 jam	54
Tabel 6.11	Nilai kelekatan aspal dengan variasi perendaman awal hingga 139 jam	55
Tabel 6.12	Ukuran penggunaan anti <i>stripping</i> (% berat), (Stefan Gessler, <i>unknown</i>)	62
Tabel 6.13	Propertis campuran awal	63
Tabel 6.14	Nilai VIM trial pada 4 gradasi dengan kadar aspal trial, ACWC Nini=8; Ndes=109; Nmax=174.....	65
Tabel 6.15	Ringkasan estimasi sifat volumetric campuran masing-masing gradasi Nini, @Ndes, Nmax (<i>trial</i>)	66
Tabel 6.16	Ringkasan sifat kepadatan campuran masing-masing gradasi (<i>trial</i>)	66
Tabel 6.17	Sifat <i>volumetric</i> campuran @Ndes (estimasi) dan kepadatan campuran	67
Tabel 6.18	Kepadatan campuran (estimasi)	67
Tabel 6.19	Propertis campuran dengan variasi kadar aspal	68
Tabel 6.20	Karakteristik campuran rencana pada kadar aspal rencana (6,2%) dan VIM 4%.	69
Tabel 6.21	Sifat AC-WC dengan bahan pengikat aspal Pen 60 dan Polimer	75
Tabel 6.22	Sifat AC-BC dengan bahan pengikat aspal Pen 60 dan Polimer	75
Tabel 6.23	Sifat AC-Base dengan bahan pengikat aspal Pen 60 dan Polimer	75
Tabel 6.24	Ketentuan Agregat Kasar.....	80
Tabel 6.25	Ketentuan Agregat Halus	81
Tabel 6.26	Gradasi agregat campuran	81
Tabel 6.27	Kriteria HRS Bergradasi Senjang.....	81
Tabel 6.28	Klasifikasi Gradasi AC.....	81
Tabel 6.29	Ketentuan-ketentuan untuk Aspal Keras	82
Tabel 6.30	Ketentuan sifat campuran Latasir	82
Tabel 6.31	Ketentuan sifat campuran Lataston	83
Tabel 6.32	Ketentuan sifat campuran Laston	83
Tabel 6.33	Ketentuan sifat campuran Laston Dimodifikasi (AC Mod) .	84

Daftar Gambar

Gambar 3.1	Kandungan Silika pada Agregat (Akzonobel, 2011).....	19
Gambar 4.1	Persyaratan gradasi superpave, contoh untuk ukuran nominal maksimum agregat 12,5 mm	26
Gambar 4.6	<i>Gyratory Compactor</i>	30
Gambar 5.1	Hubungan antara kadar aspal dengan stabilitas dan durabilitas campuran beraspal (Sumber: WSDOT, 2005).	35
Gambar 6.1	Nilai kelekatan dengan penambahan anti <i>stripping</i> 0% hingga 0,60% pada aspal pen 60, agregat batu kapur ..	52
Gambar 6.2	Nilai kelekatan dengan penambahan anti <i>stripping</i> B pada aspal pen 60, hingga 0,60%.....	53
Gambar 6.3	Nilai kelekatan aspal pada penambahan aditif A pada aspal jenis MC dengan variasi perendaman awal hingga 139 jam.....	54
Gambar 6.4	Nilai kelekatan aspal pada penambahan aditif B pada MC dengan variasi perendaman awal hingga 139 jam	55
Gambar 6.5	Gradasi campuran beton aspal (ACWC) untuk percobaan	56
Gambar 6.6	Hubungan stabilitas KA 6,1% dengan % anti <i>stripping</i> serta waktu perendaman	57
Gambar 6.7	Hubungan stabilitas sisa dengan variasi perendaman serta % anti <i>stripping</i>	58

Gambar 6.8	Hubungan ITSr dengan % anti <i>stripping</i> serta waktu perendaman	59
Gambar 6.9	Hubungan ITSr dengan waktu perendaman serta % anti <i>stripping</i>	59
Gambar 6.10	Pengujian Catambro campuran panas kapur, agregat karang, agregat biasa	60
Gambar 6.11	Variasi kenaikan MSR dengan variasi % penambahan aditif pada beberapa jenis aditif	61
Gambar 6.12	Variasi kenaikan ITSr dengan variasi % penambahan aditif pada beberapa jenis aditif	61
Gambar 6.13	Hubungan VIM trial dan jumlah girasi	65
Gambar 6.14	Penentuan kadar aspal pada VIM 4%.	69
Gambar 6.15	Variasi jumlah tumbukan Marshall Vs VIM.....	72
Gambar 6.16	Gradasi agregat campuran AC-WC.....	73
Gambar 6.17	Gradasi agregat campuran AC-BC.....	74
Gambar 6.18	Gradasi agregat campuran AC-Base.....	74
Gambar 6.19	Gradasi HRS-WC	77



1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Lapis permukaan perkerasan jalan beraspal di Indonesia sebagian besar menggunakan lapis beton aspal atau campuran beraspal panas. Saat ini jalan yang berpenutup menggunakan lapis beton aspal sekitar 95%. Kinerja dari campuran ini banyak ditentukan dari *properties* dan kualitas dari bahan yang meliputi agregat dan aspal, serta *properties* dari campuran beraspal panas.

Pedoman pelaksanaan dari Direktorat Jenderal Bina Marga tentang teknologi ini sudah tersedia sejak tahun 1970 an, kemudian diperbarui pada tahun 1983 yang pada umumnya mengadaptasi dari metode *Asphalt Institute*. Teknologi ini terus berkembang dan pada sekitar tahun 1987-1993 *Strategic Highway Research Program* (SHRP) mengadakan penelitian tentang campuran aspal panas dengan metode Superpave (*Superior Performing Asphalt Pavement*) yang menghasilkan metode pelaksanaan dan spesifikasi yang dipublikasikan dalam *Asphalt Institute* dan AASHTO. Metode Superpave telah dikembangkan dan diadopsi dalam AASHTO M 323-07 dengan judul *Superpave Volumetric Mix Design*.

Pusat Litbang Jalan dan Jembatan bersama TRL (*Transport Research Laboratory*) telah mengadakan studi tentang metode campuran ini sejak sekitar tahun 1997 yang gradasi campurannya menggunakan gradasi superpave dan prosedurnya menekankan agar suatu batas rongga campuran tidak terlampaui selama masa pelayanan perkerasan (Zamhari et al, 1997). Spesifikasi pelaksanaan yang digunakan di Indonesia saat ini mengacu pada metode superpaveTM namun metode pemadatan benda uji tidak menggunakan pemadat *giratory* tetapi masih menggunakan metode Marshall, dan untuk waktu yang akan datang diperkirakan metode pemadatan ini masih akan tetap digunakan karena pengujian yang sederhana walau tidak sebaik dengan pemadat giratori.

Berdasarkan hasil studi dan pengalaman dalam pelaksanaan pekerjaan, spesifikasi umum dari Direktorat Bina Marga telah mengalami beberapa revisi seperti pada tahun 2007 dan yang terbaru adalah pada tahun 2010.

Pada spesifikasi tersebut, aspal yang digunakan sebagai campuran berdasarkan aspal *penetration grade* yang didasarkan pada nilai penetrasi dan titik lembek untuk mengantisipasi temperatur perkerasan yang terjadi selama masa pelayanan. Dengan metode *penetration grade*, untuk daerah panas digunakan aspal penetrasi rendah dan daerah dingin digunakan aspal penetrasi tinggi (*Asphalt Institute*). Sedangkan dengan metode berbasis kinerja aspal dikelompokkan kedalam nilai PG (*Performance Grade*). Keuntungan dari spesifikasi PG bahwa pemilihan aspal dapat lebih memperhatikan temperatur dan beban kendaraan di suatu lokasi yang berkaitan dengan jenis aspal yang mempunyai kinerja lebih baik seperti aspal modifikasi (polimer, asbuton dsb.).

Maksud dari kajian ini adalah mengevaluasi propertis bahan dan campuran untuk mendapatkan spesifikasi campuran beraspal panas yang mempertimbangan kinerja, pengalaman serta perkembangan teknologi campuran beraspal panas. Metodologi kajian dilakukan dengan cara

mengadakan studi literatur dan pengujian laboratorium terhadap campuran beraspal panas.

1.2 Perumusan Masalah

Kajian ini dimaksudkan untuk membahas permasalahan yang timbul seperti:

- Terdapatnya perkembangan spesifikasi campuran beraspal panas pada saat ini yang mengacu terhadap spesifikasi superpave tahun 2008 yang bertujuan untuk mengeliminasi terjadinya deformasi plastis dengan membatasi batas minimum rongga campuran, sehingga untuk beberapa tipe gradasi tertentu rentang batas penggunaan aspalnya cukup sempit padahal toleransi kadar aspal pada spesifikasi lebih lebar.
- Penggunaan aspal pada campuran beraspal dipengaruhi oleh kondisi lingkungan khususnya temperatur perkerasan dan beban kendaraan. Kondisi ini diakomodir pada spesifikasi aspal metode *performance grade*, sehingga pemilihan aspal yang digunakan dapat lebih tepat karena memperhatikan kondisi deformasi dan retak. Metode ini perlu dikaji sehingga dapat digunakan sebagai acuan dalam pengembangan pemilihan jenis aspal yang digunakan di Indonesia.
- Adanya isu pengaruh air pada campuran aspal panas serta penambahan kelekatan antara aspal dengan agregat perlu adanya kajian tentang pengaruh penambahan bahan tambah (anti *stripping*) terhadap aspal dan campuran serta tingkah laku aspal serta campurannya.

Pencapaian nilai volumetric pada perencanaan kadar aspal campuran saat ini menggunakan metode Marshall dan benda uji dibuat dengan memberikan sejumlah tumbukan pada kedua lapis benda uji. Sebagai pengembangan metode, dilakukan pula pengkajian rancangan kadar aspal dengan sesuai metode superpave (AASHTO M 323-07, 2008) di mana benda uji dibuat dengan *gyratory compactor*.



2

PROPERTI S BAHAN CAMPURAN BETON ASPAL

Bahan utama untuk campuran beton aspal adalah agregat dan aspal. Dalam campuran proporsi agregat paling dominan, umumnya antara 93%- 95% campuran beton aspal terdiri dari agregat dan sisanya adalah aspal. Campuran beton aspal termasuk dalam kategori campuran beraspal panas seperti lapis aspal beton (LASTON), lapis tipis beton aspal (LASTON) serta lapis tipis aspal pasir (LATASIR). Campuran beraspal panas lainnya yang dapat dikategorikan sebagai campuran khusus seperti *stiff mastic asphalt (SMA)*, *open graded friction course (OGFC)* yang disebut pula *porous asphalt* dan *asphalt treated permeable base (ATPB)*. Hal utama yang membedakan dari jenis konstruksi ini selain sifat dari masing-masing jenis campuran adalah ukuran nominal agregat, gradasi, dan peruntukannya.

2.1 Agregat

Agregat merupakan sekumpulan batuan yang diproduksi sebagai bahan jalan dengan variasi ukuran tertentu dari besar hingga kecil dan umumnya berukuran lebih besar dari 0,075 mm (No.200). Agregat merupakan bahan

keras yang digunakan sebagai bagian dari bahan perkerasan jalan dan berfungsi sebagai tulangan. Kualitas agregat merupakan salah satu hal yang penting untuk diperhatikan karena akan mempengaruhi hasil dari pekerjaan perkerasan jalan.

Pengujian agregat di laboratorium dilakukan dengan menggunakan pedoman maupun standar yang berlaku sehingga tingkat kualitas agregat dapat diketahui secara umum. Beberapa sifat agregat yang berhubungan dengan penggunaannya untuk campuran beraspal panas diuraikan di bawah ini:

2.1.1 Ukuran Butir dan Gradasi

i) Ukuran butir

Ukuran agregat dalam suatu campuran beraspal terdistribusi dari yang berukuran besar sampai ke yang kecil. Ukuran agregat diukur berdasarkan besarnya partikel agregat yang lolos atau tertahan pada suatu ukuran bukaan ayakan, umumnya untuk campuran beraspal panas digunakan ayakan ukuran 2 inci (50 mm) hingga ayakan No. 200 (0,075 mm). Berdasarkan spesifikasi umum, istilah yang berkaitan dengan ukuran butir agregat, yaitu:

- Ukuran maksimum, merupakan ukuran ayakan terkecil yang meloloskan 100 % agregat.
- Ukuran nominal maksimum, merupakan ukuran ayakan terbesar yang masih menahan maksimum dari 10 % agregat.
- Fraksi agregat dalam perencanaan campuran dinyatakan dengan:
 - Agregat kasar, merupakan agregat yang tertahan ayakan No. 8 (2,36 mm).
 - Agregat halus, adalah agregat yang lolos ayakan No. 8 (2,36 mm).
 - Mineral pengisi, merupakan fraksi dari agregat halus yang lolos ayakan no. 200 (0,075 mm) minimum 75% terhadap berat total agregat.

- Mineral abu, merupakan fraksi dari agregat halus yang 100% lolos ayakan no. 200 (0,075 mm)

2.1.2 Bentuk Agregat dan Kekasaran Permukaan serta Angularitas

Bentuk agregat dibedakan menjadi agregat lonjong, agregat pipih, agregat pipih dan lonjong dan agregat kubikal (tidak pipih dan lonjong). Pemadatan campuran yang menggunakan agregat kubikal menghasilkan *density* yang lebih besar dan mudah dikerjakan. Penggunaan agregat yang pipih dan lonjong lebih sulit dikerjakan dan memerlukan energi pemadatan yang lebih besar, selain hal tersebut penggunaan agregat bentuk ini dapat berakibat banyaknya agregat patah yang berpotensi agregat muncul pada permukaan perkerasan dan mengakibatkan berkurangnya keawetan perkerasan. Penggunaan agregat ini juga berpotensi nilai VMA sedikit lebih tinggi (NCHRP, 557, 2006).

Angularitas agregat berkaitan dengan terjadinya alur pada campuran beton aspal. Angularitas agregat kasar dinyatakan dalam angka misal 95/90 yang menyatakan bahwa 95% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih dan 90% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah dua atau lebih. Nilai angularitas agregat pecah yang tinggi dapat meningkatkan saling kunci antar-agregat (*interlocking*) yang selanjutnya dapat mengurangi kerentanan campuran terhadap alur. Dari beberapa studi menunjukkan bahwa makin tinggi nilai angularitas agregat kasar daya tahan terhadap alur makin besar. Umumnya agregat yang mempunyai nilai angularitas yang besar juga mempunyai kekasaran permukaan yang besar. Kekasaran permukaan dapat berpengaruh terhadap kadar aspal campuran dan VMA.

Nilai angularitas agregat halus menunjukkan tingkat ketidakrataan atau ketajaman agregat halus. Suatu kelebihan dari agregat halus yang bulat (misal pada pasir alam) dapat menyebabkan alur pada campuran beraspal

panas. Tipikal nilai angularitas agregat halus untuk agregat pecah 43%-52% dan pasir dari 38%-46%. Nilai minimum yang disarankan adalah 45% (http://pavement_interactive.org/index.php?title=fine_aggregate_angularity, jam 14.50, tgl. 17-2-2012).

Angularitas agregat dalam campuran beton aspal mempengaruhi nilai volumetrik dari campuran. Nilai VMA cenderung lebih kecil pada angularitas 85/80 dibanding 75/- (Iwan et al, 2010). Perubahan tersebut disebabkan selain karena nilai angularitas diperkirakan antara lain karena pecahnya agregat pada waktu pemadatan.

2.1.3 Penyerapan Agregat

Informasi tentang besarnya nilai absorpsi agregat diperlukan untuk menilai kemampuan agregat tersebut untuk menyerap air atau aspal. Daya serap agregat yang tinggi mempunyai kemampuan menyerap aspal yang tinggi pula, sehingga aspal tidak hanya berada dibagian luar agregat sebagai selimut aspal yang mudah terkelupas. Namun demikian, agregat yang mempunyai daya serap yang tinggi dapat berupa agregat sangat porus yang mempunyai kekuatan yang rendah. Nilai absorpsi ini berkaitan dengan berat Jenis agregat. Dalam spesifikasi, nilai penyerapan terhadap air yang disyaratkan untuk campuran beraspal maksimum 3%.

2.1.4 Kekerasan Agregat

Kekerasan agregat dapat menggambarkan kekuatan agregat menahan beban atau benturan pada waktu pemecahan, pemadatan maupun setelah dilalui kendaraan. Agregat tidak mudah pecah sehingga pada waktu pemadatan gradasi tidak berubah melampaui batas yang diharapkan. Perubahan gradasi yang terlalu besar akan menyebabkan antara lain kadar aspal campuran beraspal menjadi kurang cukup untuk dapat menyelimuti dan mengikat agregat sehingga campuran yang dihasilkan akan mudah

terjadi disintegrasi dan durabilitas rendah. Pengujian dapat dilakukan dengan mesin *Abrasi Los Angeles*. Dibeberapa negara kekerasan agregat diuji dengan alat *Micro Deval*.

2.1.5 Kelekatan

Kelekatan agregat terhadap aspal menunjukkan kemampuan agregat untuk mengikat, menyerap dan menahan selaput aspal.

Beberapa jenis agregat memiliki sifat kelekatan terhadap aspal yang tinggi, seperti sebagian jenis batu kapur dan dolomit. Sedangkan beberapa jenis lainnya mempunyai daya lekat terhadap aspal yang rendah seperti jenis agregat kuarsit, beberapa jenis granit, dan beberapa jenis kapur. Pada agregat yang mempunyai daya lekat rendah, selaput aspal akan mudah lepas jika terkena air. Kelekatan agregat terhadap aspal maupun aspal terhadap agregat yang mempunyai kelekatan baik dinyatakan secara visual dengan besaran minimum 95⁺.

2.1.6 Sifat Agregat Lolos Ayakan No.200 (0,074 mm)

Jumlah fraksi agregat halus lolos ayakan No. 200 mempengaruhi kinerja campuran beraspal panas. Agregat ini dapat berfungsi sebagai filler atau mortar bila bersatu dengan bahan pengikat aspal. Penggunaan agregat lolos ayakan No. 200 yang terlalu besar dapat mempengaruhi penggunaan aspal dan dapat mempunyai efek negatif terjadinya alur dan *bleeding*. Agregat ini juga dapat menyebabkan kekakuan aspal dan atau campuran dan selanjutnya menyebabkan *fatigue cracking*. Selain hal tersebut agregat lolos ayakan no 200 dapat pula berkontribusi dalam ketahanan terhadap pengaruh air yang dapat menyebabkan campuran kehilangan daya tahannya, tegangan geser lebih rendah, retak dan kedalaman alur bertambah. Pada metode superpave perbandingan banyaknya agregat lolos ayakan 200 dan *binder* dinyatakan dalam *dust proportion ratio/filler binder*

ratio yang besarnya adalah 0,6 - 1,2 untuk gradasi di atas titik kontrol PCS (*Primary Control Sleeve*) ,0,8 – 1,6 untuk gradasi di bawah titik kontrol PCS dan 0,9-2,0 untuk campuran ukuran maksimum nominal agregat 4,75 mm (AASHTO M323-07)

2.1.7 Setara Pasir (*Sand Equivalent*)

Kebersihan agregat dari kotoran seperti tanah lempung dapat mengganggu kondisi campuran. Kadar lempung atau fragmen2 halus dapat berasal dari tanah atau selaput halus batuan. Selaput ini sangat menyerap air sehingga apabila tercampur dalam campuran dapat mengakibatkan campuran menjadi kurang bercampur dengan baik. Nilai *sand equivalent* yang diijinkan pada Spesifikasi Umum, 2010 adalah minimum 50%, sedangkan AASHTO, 2007 minimum 30% untuk lalu lintas $0,3 \times 10^6$ ESAL dan minimum 45% untuk lalu lintas $0,3 \times 10^6$ ESAL – 30×10^6 ESAL serta minimum 50% untuk lalu lintas $> 30 \times 10^6$ ESAL. Dibeberapa negara digunakan pula cara lain seperti *Methylene Blue Value* (MBV) tes.

Pada beberapa tempat pemecah batu sering dijumpai stok agregat halus yang besar namun mempunyai nilai *sand equivalent* yang rendah, penggunaan agregat seperti ini harus dihindari. Kebersihan dari fraksi halus ini antara lain dapat ditangani dengan memasang alat pembersih untuk mengalirkan air pada instalasi pemecah batu (*stone crusher*), sehingga agregat tercuci sebelum proses pemecahan.

2.2 Aspal

Aspal merupakan bahan yang sebagian besar terdiri dari *hydrocarbon*; dan sebagian kecil sulfur, nitrogen dan *oxygen*; dan sejumlah kecil metal seperti vanadium, *nickel*, besi, magnesium dan *calcium*. Analisis kimia menunjukkan: *carbon*, 82-88%; *hydrogen*, 8-11%; *sulfur*, 0-6%; *oxygen*, 0-

1,5%; dan nitrogen, 0-1% (Rajib B. Mallick et al). Aspal dikelompokkan menjadi aspal keras, aspal cair (*cutback*) dan aspal emulsi.

Penilaian karakterisasi aspal keras dapat dilakukan dengan metode *penetration grade*, *viscosity grade* dan *shear modulus* atau *performance grade*.(Rajib B mallick et al p 163, 2009).

2.2.1 Aspal *Penetration Grade*

Aspal *penetration grade* dispesifikasikan berdasarkan nilai penetrasi dan titik lembek, tetapi dalam penamaan hanya berdasarkan nilai penetrasi. Klasifikasi aspal *penetration grade* menurut BS 3690:Part 1 terdiri dari pen 15 hingga pen 450. Aspal pen grade yang tersedia di pasaran Indonesia pen 60 (± 10). Selain uji penetrasi dan titik lembek, uji aspal yang lain untuk pekerjaan beton aspal adalah kelarutan dalam *trichloroethylene* dan *loss on heating*, Titik nyala, duktilitas dan Berat Jenis aspal.

Tingkat kerentanan aspal terhadap temperatur pada *penetration grade* yang dikembangkan oleh Pfeiffer dan Van Doormaal dinyatakan dengan *Penetration Index* (PI). Nilai PI berkisar antara -3 untuk aspal yang kerentanan terhadap temperatur tinggi dan +7 untuk aspal yang kerentanan terhadap aspal rendah (Shell Bitumen, 1991). Nilai PI untuk campuran beraspal umumnya -1 sampai dengan +1 (Saleh M.F, 2006 berdasarkan Roberts et al ,1991).

2.2.2 *Viscosity Grade* (Kekentalan)

Spesifikasi aspal berdasarkan kekentalan RSNI S-01-2004 (AASHTO M 22680) berisi persyaratan aspal keras berdasarkan kekentalan aspal asli yang terdiri dari AC-2,5, AC-5, AC-10, AC-20, dan AC-40. Makin besar angka dibelakang kode AC, nilai kekentalan makin besar. Persyaratan tingkat kekentalan aspal setiap jenis aspal diukur pada temperatur 60°C.

Berdasarkan standar tersebut untuk aspal keras yang mempunyai penetrasi 70x0,1 mm (AC-10), tingkat kekentalan pada temperatur 60°C adalah sebesar 1000 ± 200 Poise. Sedangkan persyaratan tingkat kekentalan minimum pada temperatur 135 °C adalah 150 cST.

Tingkat viskositas merupakan hal yang penting untuk mengetahui tingkat keenceran aspal, namun demikian informasi yang didapat adalah hanya pada perilaku viscous aspal pada temperatur tinggi, informasi tentang keelastisan aspal pada temperatur rendah atau sedang untuk memprediksi kinerja tidak tersedia, sedangkan penetrasi menggambarkan hanya pada temperatur sedang (David RJ, 1997).

2.2.3 Aspal Performance Grade (PG)

Metode Superpave menggunakan metode uji, peralatan, persyaratan, dan penyeleksian aspal yang berbeda dengan metode *penetration* maupun *viscosity grade*. Klasifikasi aspal seperti PG 52, PG 58, PG 64 dibedakan berdasarkan temperatur maksimum dan minimum pada suatu lokasi hamparan. Sebagai contoh aspal PG 52-10 menyatakan bahwa aspal tersebut harus memenuhi persyaratan sifat fisik aspal pada temperatur tinggi maksimum pada temperatur 52°C dan persyaratan fisik aspal pada temperatur rendah hingga pada temperatur -10°C. Makin tinggi angka pertama dibelakang PG aspal makin tahan terhadap kerusakan yang terjadi pada temperatur tinggi seperti alur, dan makin rendah angka kedua dibelakang PG aspal makin tahan terhadap kerusakan yang terjadi pada temperatur rendah.

Temperatur tinggi perkerasan diukur pada kedalaman 20 mm di bawah permukaan perkerasan dan temperatur rendah pada lapis permukaan.

2.2.3.1 Penyesuaian Pemilihan Klasifikasi Aspal PG Berdasarkan Kecepatan Kendaraan dan Waktu Pembebanan (*traffic loading*)

Pemililihan jenis aspal yang tertera pada spesifikasi adalah berdasarkan asumsi kondisi kecepatan kendaraan tinggi (normal) dan beban bergerak (*transient*). Untuk kendaraan berjalan lambat (AASHTO MP-2, *standard Specification for superpave volumetric Mix Design*), seleksi *grade* aspal diambil 1 tingkat lebih tinggi (1 *grade* lebih panas) misal PG 58 menjadi PG 64. Untuk kendaraan sangat lambat (*standing load*) *grade* aspal diambil 2 tingkat lebih tinggi seperti PG 58 menjadi PG 70.

Demikian pula untuk lalu lintas rencana, untuk lalu lintas rencana 10.000.000 – 30.000.000 ESAL, seleksi aspal diambil 1 tingkat lebih tinggi dan untuk lalu lintas rencana lebih besar 30.000.000 diambil 2 tingkat lebih tinggi. Hubungan antara *grade* aspal dengan kecepatan dan lalu-lintas rencana adalah seperti disajikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. *Grade* aspal berdasarkan kecepatan dan beban lalu-lintas

Disain ESALs (juta)	Penyesuaian Tipe Aspal Terhadap Temperatur Tinggi		
	Beban Lalu-lintas		
	Diam (Kecepatan < 20 km/jam)	Rendah (Kecepatan 20-70 km/jam)	Standar (Kecepatan > 70 km/jam)
<0,3	-	-	-
0,3 - < 3	2	1	-
3 - < 10	2	1	-
10 - < 30	2	1	-
≥ 30	2	1	1

2.2.3.2 Pengujian Aspal Metode *Performance Grade* (PG)

Pengujian ini dimaksudkan untuk menilai kinerja aspal pada 3 kondisi yaitu: pada kondisi asli, setelah pencampuran dan pelaksanaan dan setelah

mengalami penuaan. Pengujian RTFO (*Rolling Thin Film Oven*) mensimulasi kondisi aspal selama pencampuran dan pelaksanaan dan prosedur PAV (*Pressure Aging Vessel*) digunakan sebagai simulasi setelah mengalami penuaan. Tabel 2.2 menunjukkan peralatan dan kegunaannya yang digunakan dalam pengujian aspal metode Superpave.

Tabel 2.2. Peralatan dan kegunaan pengujian aspal PG

Nama alat	Kegunaan	Metode
<i>Rolling thin-film oven</i>	Mensimulasi karakteristik aspal pada pencampuran, penghamparan, pemadatan.	AASHTO T240
PAV (<i>Pressure Aging Vessel</i>)	Mensimulasi karakteristik aspal selama masa layanan.	AASHTO PP1
DSR (<i>Dynamic Shear Rheometer</i>)	Menguji sifat aspal pada temperatur tinggi dan sedang untuk mengetahui ketahanan terhadap alur dan <i>fatigue</i> .	AASHTO TP5
<i>Rotational viscometer</i>	Menguji sifat aspal pada temperatur tinggi untuk mengetahui karakteristik <i>handling</i> dan <i>flow</i> .	ASTM D4402
<i>Bending beam rheometer</i>	Menguji sifat aspal pada temperatur rendah untuk mengetahui uji ketahanan terhadap retak pada temperatur rendah.	AASHTO TP1
<i>Direct tension tester</i>	Menguji sifat aspal pada temperatur rendah untuk mengetahui uji ketahanan terhadap retak pada temperatur rendah.	AASHTO TP3

Sumber: *Superpave mix design, Superpave Series No.1, the Asphalt Institute*

Dynamic Shear Rheometer merupakan alat yang digunakan untuk mengukur sifat reologi aspal (sifat elastik dan *viscous*) yang dinyatakan sebagai *complex shear modulus* (G^*) dan *phase angle* (δ), pada temperatur sedang hingga tinggi. Berdasarkan *The Asphalt Institute SP-2, 2003*, G^* merupakan parameter dari total tahanan bahan terhadap deformasi akibat beban (*pulses*) berulang pada pengujian tegangan geser. Tahanan bahan ini terdiri dari 2 komponen yaitu yang bersifat elastik (*recoverable*) dan *viscous (non-recoverable)*. Jumlah relatif dari yang bersifat *elastic* dan *viscous* dinyatakan dengan δ . Besarnya parameter G^* dan δ dipengaruhi oleh waktu

pembebanan (*time of loading*) dan temperatur. Berdasarkan nilai *shear stress* dan *strain* yang terjadi, G^* merupakan rasio antara *total shear stress* ($\tau_{\max} - \tau_{\min}$) dengan *total shear strain* ($\gamma_{\max} - \gamma_{\min}$). Kekosongan waktu (*time lag*) antara tegangan yang diberikan dan regangan yang dihasilkan (untuk *constant stress rheometer*) atau *strain* yang diberikan dan tegangan yang dihasilkan (untuk *constant strain rheometer*) merupakan *phase angle*, δ .

Pengujian dilakukan terhadap benda uji aspal (tipis) yang diletakkan diantara 2(dua) piringan (*plate*), satu piringan permanen dan lainnya bisa berputar (*oscillate*). Perputaran dalam 1 putaran merupakan 1 *cycle* dan terus berlanjut selama operasi DSR. Kecepatan perputaran merupakan frekwensi. Pengujian dilakukan pada frekwensi 10 radians/detik yang setara dengan 1,59 Hz (*cycles per detik*). *Stress* dan *strain* setiap *cycle* dapat diukur.

Pada temperatur tinggi aspal bersifat cairan *viscous* yang tidak mempunyai kekuatan untuk pulih kembali atau melekat kembali (*rebounding*). Pada temperatur sangat rendah, aspal bersifat seperti benda padat elastik yang kembali ke sifat asal secara sempurna (*rebounding*). Pada temperatur perkerasan normal dan beban lalu-lintas, perekat aspal bertingkah laku sebagai bahan cair *viscous* dan benda padat elastik. Dengan mengukur G^* dan δ didapat gambaran yang lebih jelas tentang perilaku aspal pada temperatur pelayanan perkerasan. Pada saat aspal ini dibebani, sebagian dari deformasi bersifat elastik (e) dan sebagian bersifat *viscous* (v), maka aspal merupakan bahan *viscous* elastik. Meskipun aspal *viscous elastic* dan mempunyai G^* yang sama, namun δ lebih kecil menunjukkan aspal lebih elastik. Karena aspal mempunyai komponen elastik yang lebih besar, akan lebih mudah kembali ke semula akibat beban yang terjadi.

Untuk bahan yang bersifat elastik, adanya beban yang diberikan bahan dengan cepat merespon, dengan demikian *time lag* atau δ adalah nol. Untuk *viscous* bahan (seperti aspal panas pada temperatur pencampuran)

mempunyai *time lag* yang relatif besar antara beban yang diberikan dengan respon, dalam hal ini δ mendekati 90° . Bahan pengikat aspal adalah *viscoelastic* pada temperatur normal, yang berperilaku di antara kedua tingkah laku ekstrim di atas.

Deformasi permanen diukur dengan memberi batas nilai $G^*/\sin \delta$ pada temperatur pengujian yang lebih besar dari 1,00 kPa (1000 Pa) untuk aspal asli dan 2,20 kPa (2200 Pa) setelah uji penuaan aspal dengan RTFO. *Fatigue cracking* diukur dengan membatasi $G^*\sin \delta$ pada tekanan bahan yang diuji (pada uji PAV) untuk nilai lebih kecil dari 5000 kPa pada temperatur pengujian.



3

DAYA TAHAN CAMPURAN BERASPAL PANAS TERHADAP PENGARUH RENDAMAN AIR

3.1 Umum

Air sangat mempengaruhi masa pelayanan konstruksi perkerasan beraspal. Beberapa faktor penyebab kerusakan perkerasan akibat pengaruh air dapat disebabkan oleh kondisi agregat, aspal, tipe campuran, pengaruh cuaca dan lingkungan, serta kondisi drainase. Adanya bahan plastis halus pada fraksi agregat halus pada campuran beton aspal dapat menyebabkan pengelupasan aspal (*stripping*) pada campuran bila terpengaruh air atau lembab. Beberapa jenis pengujian pada bahan plastis dapat dilakukan dengan uji *sand equivalent*, *plasticity index*, *methylene blue test*, *surface free energy theory* dan *Net Adsorption Test*. Pada spesifikasi umum persyaratan yang digunakan untuk mengevaluasi adanya bahan plastis adalah uji *sand equivalent* untuk agregat sebagai bahan lapis aspal dan uji *plasticity index* untuk lapis tak berpengikat, sedangkan pengujian lainnya belum dikembangkan.

Pengelupasan aspal dapat terjadi pula akibat kelekatan antara partikel agregat dengan aspal, usaha untuk meningkatkan pelekatan dari kedua bahan dapat digunakan anti *stripping*.

3.2 Anti Pengelupasan (*Stripping*)

Pelekatan antara agregat dan aspal diperkirakan berkaitan erat dengan masa pelayanan campuran beraspal. Kerusakan yang sering dijumpai bila pelekatan kurang adalah terjadi pengelupasan aspal pada agregat (*stripping*) yang dapat mengakibatkan kerusakan lepas-lepas pada permukaan yang selanjutnya bila tidak segera ditangani akan menyebar menjadi kerusakan yang lebih meluas seperti lubang.

Pelekatan dan pengelupasan

Pelekatan merupakan daya kontak dari 2 bahan yang tergantung dari daya resap dan kekasaran agregat, dan daya aspal memberikan kekuatan melekat pada agregat. Pengelupasan terjadi karena adanya kehilangan rekatan aspal pada agregat atau sebaliknya. Air dapat menyelimuti aspal maupun agregat, karena air lebih mudah menyerap kedalam agregat daripada aspal sehingga air dapat menghalangi selimut aspal pada agregat, yang menyebabkan pelekatan aspal berkurang sehingga terjadi pelepasan. Proses pelepasan ini terjadi karena pada awalnya air berusaha merembes pada agregat, karena tekanan air menyusup pada lapisan aspal menimbulkan terjadinya pelepasan yang dimulai dibagian yang lemah. Selimut air pada agregat menghalangi selimut aspal, selimut aspal tidak dapat merekat pada agregat sehingga lepas dari agregat.

Pelekatan antara agregat dengan aspal maupun antara aspal dengan agregat keduanya menentukan kekuatan pelekatan dari kedua bahan.

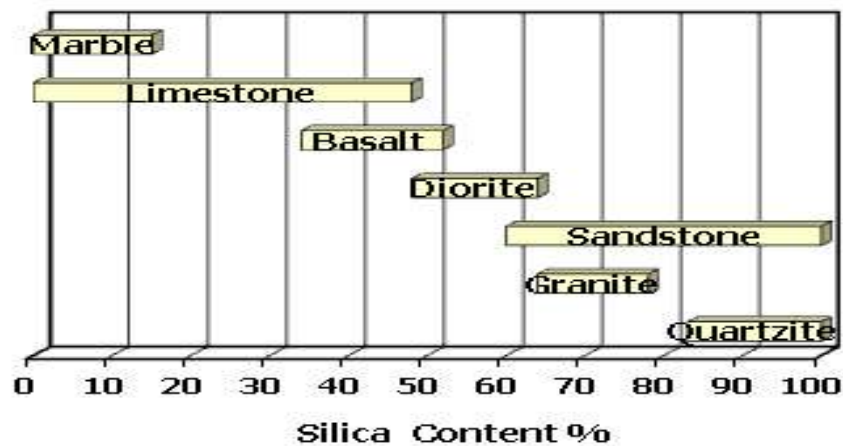
Aspal adalah produksi *hydrocarbon* yang mempunyai tekanan permukaan yang rendah, dan lebih rendah dari air dan agregat sehingga air lebih

mudah menyerap/membasahi agregat dibandingkan aspal (*Stefan Gessler, unknown*).

Agregat mudah menyerap air (*hydropolic*) yang berarti mudah diselimuti air sedangkan aspal adalah *hydrophobic* yang sukar berinteraksi dengan air. Dilain pihak umumnya agregat dapat berinteraksi dengan aspal.

Tingkat penyalimutan aspal tergantung dari viskositas aspal, makin rendah viskositas tingkat penyalimutan makin besar.

Dalam rangka mendapatkan ikatan antara aspal dan agregat yang makin besar, perlu diadakan perubahan terhadap sifat alami permukaan agregat. Tekanan permukaan agar diturunkan sehingga agregat menjadi lebih bersifat tidak mudah teresapi air (*lipophilic, oil- loving*).



Gambar 3.1. Kandungan Silika pada Agregat (Akzonobel, 2011)

Agregat kadang-kadang diklasifikasikan sebagai *alkaline* (kadar *silica* rendah) seperti kapur dan *marble*, atau bersifat asam (*acidic*) dengan kadar *silica* tinggi seperti granit dan *quartzite*. Hal ini disederhanakan bahwa agregat mengandung campuran antara alkaline dan mineral asam (*acid*). Umumnya agregat kapur mempunyai daya lekat tinggi terhadap aspal,

namun demikian terdapat pula agregat kapur yang mempunyai daya lekat terhadap aspal rendah. Kadar *silica* dalam campuran agregat dapat menjadi suatu petunjuk tingkat pelekatan aspal terhadap agregat. Kandungan *silica* pada beberapa jenis agregat dapat dilihat pada Gambar 3.1.

Tingkat pelekatan aspal dengan agregat dapat dinaikkan melalui penambahan bahan anti *stripping*. Beberapa anti *stripping* telah dikembangkan, *fatty amines* jenis *surface active compounds* mulai digunakan sejak tahun 1950 an. Juga jenis *chemical compounds* seperti *amidoamines*, *imidazolines*, semen (PC) dan kapur (*hydrated lime*), digunakan sebagai pencegahan pengelupasan (*Stefan Gessler, unknown*).

Dikenal 2 tingkatan kemampuan aspal untuk menyelimuti agregat yaitu kelekatan pasif (*passive adhesion*) dan kelekatan aktif (*active adhesion*). Kelekatan pasif merupakan kemampuan aspal untuk menyelimuti permukaan agregat kering mempertahankan kelekatanannya selama umur campuran tersebut, sedangkan kelekatan aktif merupakan kemampuan aspal untuk menyelimuti permukaan agregat basah dan/atau untuk mempertahankan lapisan ini didalam kondisi basah. Bila digunakan bahan anti *stripping*, banyaknya kelekatan aktif lebih besar dibandingkan kelekatan pasif.

Dalam kajian ini digunakan beberapa jenis anti *stripping* yang saat ini digunakan sebagai bahan tambah untuk beberapa campuran beton aspal.

4

RANCANGAN CAMPURAN METODE SUPERPAVE DENGAN GYROPAC

4.1 Sifat-sifat Campuran Padat Menurut Volume

Sifat-sifat campuran padat menurut volume (rongga udara, VIM atau V_a), rongga dalam agregat (VMA), rongga terisi aspal (VFA) dan kandungan aspal efektif (P_{be}) merupakan beberapa indikasi kinerja beton aspal. Pemadatan campuran antara agregat panas dengan aspal panas di laboratorium dilakukan sebagai simulasi pemadatan lalu lintas di lapangan setelah dilewati kendaraan selama umur rencana. Tingkat keakuratan derajat kepadatan laboratorium dapat dievaluasi dengan membandingkan sifat contoh asli (*undisturbed sample*) lapangan dengan contoh laboratorium.

Beberapa metode pemadatan yang merupakan bagian dari perencanaan campuran beton aspal dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Metode pemadatan laboratorium campuran beraspal panas

Metode	Analisis
Marshall (ASTM D 1559 & AASHTO T245)	Rongga campuran, <i>density</i> dan stabilitas (berdasarkan tumbukan)
Hveem (ASTM D 1560 dan D 1561)	Rongga campuran, <i>density</i> dan stabilitas (<i>kneading compactor</i>)
Superpave (<i>Superior Performing Asphalt Pavement</i>) (AASHTO M 323 - 07, AASHTO MR 30 - 02 (2006), AASHTO T 312 - 08, AASHTO T 283-07).	<ul style="list-style-type: none"> – Mengintegrasikan antara penyeleksian bahan dan perencanaan campuran kedalam suatu prosedur yang berdasarkan iklim dan lalu lintas rencana suatu lokasi proyek. – <i>Volumetric analysis</i> – <i>Feature</i> : uji pemadatan laboratorium dan kinerja. – Alat : <i>Superpave Gyratory Compactor</i> (SGC)

4.2 Rancangan Campuran Metode Superpave

4.2.1 Umum

Spesifikasi campuran beraspal panas "superpave" AASHTO M 323-2007 rancangan campuran dibagi menjadi 5 kelas sesuai dengan rencana lalu-lintas, yaitu:

- < 0,3 Juta *Equivalent Standard Axle Loads* (ESAL_s)
- 0,3 s.d. < 3 Juta ESAL_s
- 3 s.d. < 10 Juta ESAL_s
- 10 s.d. < 30 Juta ESAL_s
- > 30 Juta ESAL_s

Masing-masing kelas jalan mempunyai persyaratan kepadatan, dan volumetrik yang berbeda, serta persyaratan kualitas bahan (aspal dan agregat) yang berbeda juga. Makin berat beban lalu-lintas maka persyaratan yang diminta makin ketat. Sementara temperatur udara akan mempengaruhi persyaratan dari aspal yang akan digunakan. Sebelum

pengujian campuran terhadap benda uji campuran maka untuk pembuatan benda ujinya disarankan menggunakan *Gyratory Compactor*. Alat *Gyratory* ini selain untuk pembuatan rancangan campuran juga untuk pengendalian mutu dilapangan.

4.2.2 Penyeleksian Agregat dan Gradasi Agregat Campuran

4.2.2.1 Karakteristik Agregat

Karakteristik agregat yang penting dan harus dipenuhi untuk campuran beton aspal (*Hot Mix Asphalt*, HMA) adalah mencakup:

- Angularitas agregat kasar
- Angularitas agregat halus
- Partikel pipih-lonjong
- Kadar lempung/setara pasir

Persyaratan agregat didasarkan pada beban lalu lintas rencana, seperti disajikan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Persyaratan agregat sesuai spesifikasi Superpave

Lalu-lintas Rencana (Juta ESALs)	Angularitas agregat kasar (minimum %)		Angularitas agregat halus (minimum %)		Nilai setara pasir/Sand equivalent (min %)	Pipih-Lonjong (maks %)
	Kedalaman dari permukaan (mm)					
	≤100	>100	≤100	>100		
< 0,3	75/-	75/-	-	-	40	-
0,3 s.d. < 3	75/-	75/-	40	10	40	10
3 s.d. < 10	85/80	75/-	45	40	45	10
10 s.d. < 30	95/90	80/75	45	40	45	10
≥ 30	100/100	100/100	45	45	50	10

4.2.2.2 Gradasi Agregat

Gradasi agregat merupakan salah satu sifat penting dalam campuran beton aspal. Hampir semua sifat campuran dipengaruhi oleh gradasi seperti

kekakuan, stabilitas, durabilitas, permeabilitas, kemudahan pekerjaan, ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue*), ketahanan terhadap geser dan ketahanan terhadap rendaman air.

Gradasi agregat dapat dibedakan atas gradasi seragam, gradasi rapat dan gradasi senjang.

- Gradasi Seragam (*Uniform Graded*), merupakan gradasi agregat yang berukuran hampir sama. Gradasi ini disebut juga gradasi terbuka (*open graded*) karena proporsi agregat halus cuma sedikit sehingga rongga udara antar agregat cukup besar. Umumnya campuran bersifat porus, permeabilitas tinggi, stabilitas rendah dan berat isi rendah. Jenis konstruksi perkerasan yang menggunakan gradasi ini misal lapis penetrasi macadam (LAPEN), *porous asphalt*
- Gradasi Rapat (*Dense Graded*), merupakan gradasi agregat yang mempunyai ukuran butir dari kasar hingga halus secara menerus. Gradasi ini sering disebut sebagai gradasi kontinu atau gradasi baik (*well graded*). Jenis konstruksi yang menggunakan gradasi ini misal lapis beton aspal (LASTON).
- Suatu campuran dinyatakan bergradasi sangat rapat bila persentase lolos dari masing-masing ayakan memenuhi persamaan *Fuller* sebagai berikut:

$$P = 100 \left(\frac{d}{D} \right)^n$$

d = Ukuran ayakan yang ditinjau

D = Ukuran agregat maksimum dari gradasi tersebut

n = 0,35 – 0,45

- Gradasi Senjang (*Gap Graded*), merupakan gradasi agregat yang mempunyai ukuran butir pada suatu bagian fraksi yang tidak ada atau jumlahnya sedikit. Jenis konstruksi yang menggunakan gradasi ini misal Lapis tipis aspal beton (LATASTON)

Dalam spesifikasi beton aspal, sejak sekitar tahun 1998 gradasi campuran dalam spesifikasi yang berlaku mengikuti gradasi superpave. Gradasi ini tidak berbentuk amplop tetapi berdasarkan titik kontrol yang merupakan batas yang diizinkan pada ukuran butir ayakan. Berdasarkan AASHTO M 323-07, batasan titik kontrol gradasi dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan diklasifikasikan berdasarkan PCS-*Primary Control Sieve* pada Tabel 4.4.

Gradasi agregat dibedakan berdasarkan nominal *size* agregat yang terdiri dari 6 (enam) buah gradasi. Apabila gradasi campuran terletak di bawah titik kontrol disebut gradasi kasar dan apabila di atasnya diklasifikasikan sebagai gradasi halus.

Tabel 4.3. Titik-titik kontrol gradasi agregat (AASHTO M 323-07)

Ukuran saringan (mm)	Ukuran agregat maksimum nominal- Titik-titik kontrol (% lolos)											
	37,5 mm		25,0 mm		19,0 mm		12,5 mm		9,5 mm		4,74 mm	
	min	maks	min	maks	min	maks	min	maks	min	maks	min	maks
50,0	100	-										
37,5	90	100	100									
25,0	-	90	90	100	100							
19,0	-			90	90	100	100					
12,5	-					90	90	100	100		100	
9,5	-							90	90	100	95	100
4,75	-									90	90	100
2,36	15	41	19	45	23	49	28	58	32	67		
1,18	-										30	60
0,075	0	6	1	7	2	8	2	10	2	10	6	12

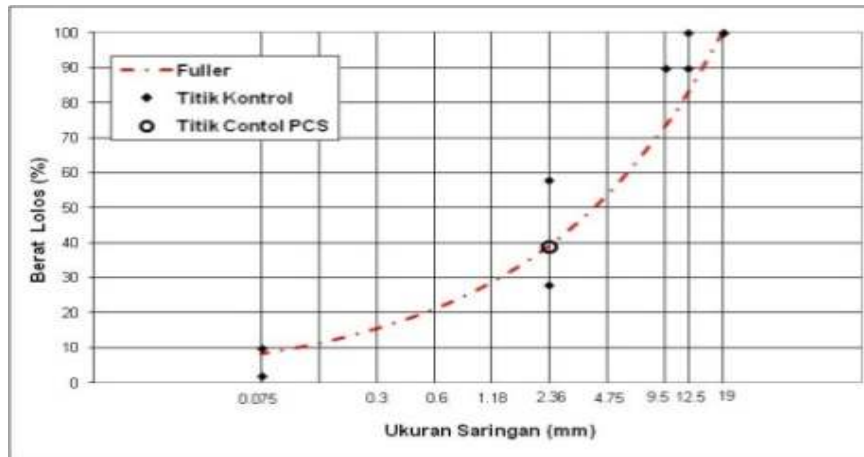
Tabel 4.4. Klasifikasi gradasi (AASHTO M 323-07)

Titik kontrol PCS untuk ukuran agregat maksimum nominal campuran (% lolos)					
ukuran agregat maksimum nominal (mm)	37,5	25,0	19,0	12,5	9,5
Primary Control Sieve (mm)	9,5	4,75	4,75	2,36	2,36
PCS Control Point (% lolos)	47	40	47	39	47

Pada awalnya terdapat daerah larangan (*restricted zone*) di daerah sepanjang garis kepadatan maksimum pada gradasi superpave yaitu pada

bagian yang terletak di sepanjang garis *Fuller* di bawah antara ukuran 0,30 mm sampai ukuran ayakan 1,18 mm (tergantung ukuran nominal maksimum), yang bertujuan untuk meyakinkan bahwa nilai *Voids Mix Agregate* (VMA) dapat tercapai. Selain hal tersebut mulanya penghindaran daerah larangan dimaksudkan untuk membatasi partikel bulat dari pasir alam yang berkontribusi dalam ketidakstabilan campuran dan menghindari kerusakan alur (NCHRP 557, 2006).

Letak titik-titik kontrol pada ukuran agregat maksimum nominal 12,5 mm, daerah larangan serta contoh gradasi dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Persyaratan gradasi superpave, contoh untuk ukuran nominal maksimum agregat 12,5 mm.

Pada pelaksanaan di lapangan, menghindari daerah larangan ini sering terjadi kendala karena letak daerah larangan dengan gradasi rencana pada daerah ini terlalu sempit.

Kandhall, PS et al, (2001) menyatakan bahwa persyaratan tentang daerah larangan merupakan hal yang berlebihan sehingga tidak diperlukan. Coole, LA et al, 2002, seperti yang dikutip pada NCHRP 539, 2005 p.52, meninjau kinerja campuran beton aspal dengan variasi gradasi terletak di atas, di

bawah, melintang dan melalui daerah larangan. Hasil menunjukkan bahwa tidak ada hubungan antara gradasi daerah larangan dengan kinerja alur dan retak. Sementara itu NCHRP 557, 2006 menyatakan bahwa alur dengan kuantitas yang sama terjadi pada pemilihan gradasi di bawah maupun diatas daerah larangan. Walau demikian campuran beton aspal dengan gradasi melewati daerah larangan menunjukan *bulk density* yang lebih besar dan rongga udara yang lebih rendah dibandingkan dengan campuran dengan gradasi yang terletak diatas atau di bawah daerah larangan.

Persyaratan menghindari daerah larangan pada segala kondisi tidak diperlukan jika persyaratan *volumetric* dan lainnya telah memenuhi kriteria. Berdasarkan hal tersebut, daerah larangan pada AASHTO M323 kemudian dihilangkan.

4.2.3 Superpave Design Gyratory Compactive Effort

Sebelum pengujian campuran terhadap benda uji campuran maka untuk pembuatan benda ujinya disarankan menggunakan *Gyratory Compactor*. Alat *Gyratory* ini selain untuk pembuatan rancangan campuran juga untuk pengendalian mutu lapangan.

Selama proses pemadatan, kepadatan benda uji dimonitor dan dicatat. Kepadatan sebagai persentase berat maksimum teoritis sesuai AASHTO T209, dapat diplot terhadap jumlah girasi atau terhadap jumlah girasi dalam log. Proses pemadatan ini memberikan gambaran kemudahan pada proses pemadatan (*workabilitas*) dan dapat memperkirakan ketahanan campuran terhadap deformasi. Ada 3 *compactive efforts* yang ditetapkan pada prosedur perencanaan campuran Superpave, yaitu:

- N_{init} : *Compactive effort* awal
- N_{design} : *Compactive effort* rencana
- N_{max} : *Compactive effort* maksimum

Compactive effort N_{init} dan N_{max} digunakan untuk mengevaluasi tingkat kepadatan campuran, namun N_{design} adalah digunakan untuk pemilihan kadar aspal rencana. Yang berkaitan dengan ke tiga *compactive effort* di atas adalah kepadatan, yaitu: C_{init} , C_{design} , C_{max} , yang mana besarnya diekspresikan sebagai persentase dari berat jenis maksimum teoritis campuran (ASTHO T209).

Nilai girasi rencana (N_{design}) adalah fungsi dari rata-rata temperatur udara rencana dan lalu-lintas rencana ($ESALS$) selama umur rencana sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.13.

Jumlah girasi untuk N_{init} berkisar antara 7 sampai 10 sesuai persamaan:

$$\text{Log } N_{init} = 0,45 \text{ Log } N_{design}$$

Jumlah girasi untuk N_{max} berkisar antara 104 sampai 287 sesuai persamaan:

$$\text{Log } N_{max} = 1,10 \text{ Log } N_{design}$$

Tabel 4.5. Jumlah Girasi Rencana (N_{design})

Lalu-Lintas Rencana	Jumlah Girasi Rencana Sesuai Temperatur Udara Rencana Rata-Rata (°C)			
(ESALS)	< 39	39-41	41-43	43-45
< 3 x 105	68	74	78	82
< 1 x 106	76	83	88	93
< 3 x 106	86	95	100	105
< 1 x 107	96	106	113	119
< 3 x 107	109	121	128	135
< 1 x 108	126	139	146	153
> 1 x 108	143	158	165	172

Sumber: SHRP, 1994

Superpave merekomendasikan agar campuran tahan terhadap deformasi *permanent* maka $C_{init} \leq 89\%$, sedangkan untuk mengantisipasi pemadatan akibat lalu-lintas sehingga dapat terjadi deformasi plastis dan membuat

deformasi *permanent* maka direkomendasikan $C_{max} \leq 98\%$. Hal demikian, menunjukkan bahwa rongga dalam campuran (VIM) harus $\geq 2\%$.

4.2.4 Kajian tentang Metode Perencanaan Superpave dengan *Gyratory Compactor*

Prosedur superpave meliputi 4 hal utama:

- Seleksi bahan (agregat dan aspal)
- Perencanaan komposisi agregat
- Perencanaan kadar aspal
- Evaluasi sensitifitas kadar air (*moisture*) terhadap campuran (AASHTO T283)

Penentuan kadar aspal berdasarkan rongga udara 4%, kemudian persen VMA dan VFA ditentukan berdasarkan kadar aspal yang didapat.

SHRP mengembangkan alat *Superpave Gyratory Compactor* (SGC) atau *Gyropac* dari Texas. Pemadat ini dimaksudkan untuk memadatkan benda uji campuran mencapai suatu kepadatan (*density*) sesuai kondisi kenyataan lapangan dan beban yang terjadi. SHRP Washington, 1994 menyatakan bahwa berdasarkan hasil pengambilan benda uji di lapangan, jumlah *density* lapangan yang mendekati hasil laboratorium Superpave dengan Gyropac lebih banyak dibanding dengan metode Marshall. Studi lain yang dilaksanakan oleh Siegfried, 2005 mendapatkan bahwa penggunaan alat Gyropac dan pemadat getar listrik (PRD) untuk persiapan benda uji dalam menghitung VIM pada kepadatan mutlak lebih disarankan dibanding Marshall. Sedangkan Riswan I, 2009 menyatakan bahwa Kepadatan pada N_{max} dan N_{des} suatu gradasi (atas dan bawah *Fuller*) dan angularitas 55/- girasi 120 dan 50 setara dengan 2x40 tumbukan, sedangkan untuk angularitas 75/- dan 85/80 pada girasi 200 dan 80 setara dengan 2x55 Marshall.

Pemadatan dilakukan sampai mencapai sejumlah *gyratory* (Ndes) terlengkapi. Secara garis besar alat yang dikembangkan SHRP adalah sebagai berikut:

- Rotasi pada 30 gyration/ menit dan sudut $1,25^\circ$ ke horizontal.
- *Loading system*, tekanan 600 kPa.
- Diameter *mold* 250 mm (6").

Alat Gyratory compactor ditunjukkan seperti Gambar 4.6.



Gambar 4.6. *Gyratory Compactor (Gyropac)*

Beberapa negara kemudian mengembangkan alat ini dan alat yang digunakan dalam litbang mempunyai spesifikasi yang berbeda dengan yang digunakan oleh SHRP, sehingga diperlukan kalibrasi atau pendekatan dalam penentuan N maupun penggunaan diameter mold untuk pembuatan benda uji. Pada litbang ini *mold* yang digunakan adalah mold diameter 10 cm dan nilai density hasil benda uji dengan gyropac yang terjadi didekati dengan density hasil pemadatan Marshall dengan 2x75 kali tumbukan.

Perbedaan Gyropac yang ada dengan Standar AASHTO:

- Alat yang ada: 60 RPM, tekanan 240 kPa (\varnothing 10 cm) & dan 540 kPa (\varnothing 15 cm).
- AASHTO: 30 RPM, sudut girasi $1,16^\circ$, tekanan 600 kPa (\varnothing 15 cm).

4.2.5 Kriteria Campuran

Karakteristik campuran kriteria persyaratannya dibagi menjadi lima kecuali rasio bahan pengisi terhadap aspal (*dust to binder ratio*) yang sama sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.6. Desain kelas lalu-lintas diarahkan untuk mengantisipasi beban lalu-lintas pada lajur rencana dalam periode 20 tahun. Tanpa memperhatikan umur rencana perkerasan, tentukan *design ESAL* untuk 20 tahun.

Tabel 4.6. Persyaratan karakteristik campuran beraspal panas berdasarkan spesifikasi superpave

Desain ESALs (juta)	Kepadatan (%) terhadap maksimum <i>specific gravity</i> teoritis)			Minimum Rongga dalam Agregat (%)					Rongga Terisi Aspal, VFB (%)	Rasio Abu terhadap aspal
				Ukuran Nominal Maksimum Agregat (mm)						
	N _{initial}	N _{design}	N _{max}	37,5	25,0	19,0	12,5	9,5		
<0,3	≤ 91,5								70 – 80	
0,3 - <0,3	≤ 90,5								65 – 78	
3 - <10		96,0	≤ 98,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0		0,6 –
10 - < 30	≤ 89,0								65 - 75	1,2*
≥ 30										

*) 0,6-1,2 untuk gradasi diatas Titik Kontrol PCS dan 0,8-1,6 untuk gradasi di bawah Titik Kontrol PCS

Sumber : AASHTO (M323-07)



5

CAMPURAN BETON ASPAL

5.1 Jenis Campuran Beraspal Panas (*Hot Mix*)

Jenis campuran beraspal panas sesuai spesifikasi Umum Bina Marga adalah terdiri atas 3 (tiga) kelompok pembagian karakteristik campuran berdasarkan beban lalu-lintas, yaitu untuk lalu-lintas <0,5 juta ESA digunakan Latasir (Lapis Tipis Aspal Pasir/ *Sand Sheet*), untuk lalu lintas 0,5 – 1 juta ESA digunakan Lataston (Lapis Tipis Beton Aspal / HRS) dan untuk lalu lintas >1 juta digunakan Laston (Lapisan Beton Aspal, AC).

5.2 Kinerja Campuran Beton Aspal

Beberapa metode desain telah berevolusi untuk menghasilkan campuran beraspal panas yang sesuai untuk situasi tertentu. Agar memenuhi kriteria untuk kondisi lalu lintas tertentu maka campuran beraspal panas tersebut harus (Shell Bitumen, 2003):

- mampu menahan deformasi permanen;
- mampu menahan kelelahan retak;
- mudah dilaksanakan selama penghamparan, memungkinkan material dapat dipadatkan secara memuaskan dengan peralatan yang tersedia;

- kedap, untuk melindungi lapisan bawah struktur jalan dari air;
- tahan lama, tahan abrasi oleh lalu lintas dan efek dari udara dan air;
- berkontribusi pada kekuatan struktur perkerasan;
- mudah dipelihara, dan yang paling penting
- biaya efektif.

Selain di atas, permukaan bahan juga harus:

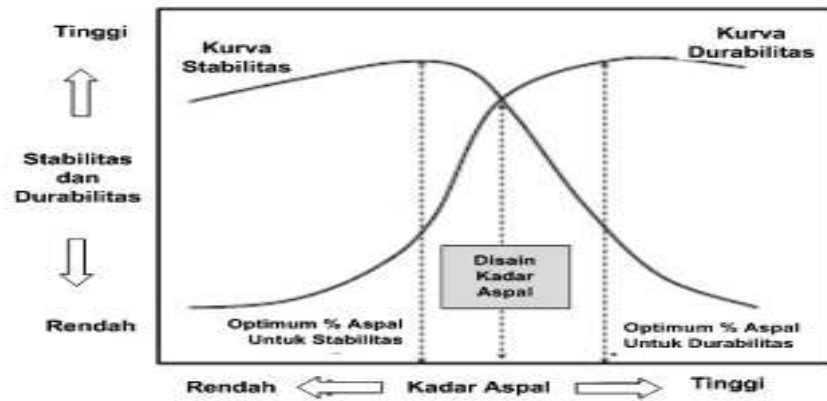
- tahan selip pada semua kondisi cuaca
- menghasilkan tingkat kebisingan yang rendah, dan
- memberikan kualitas permukaan yang nyaman.

Keruntuhan beton aspal berdasarkan SHRP 1994 terdiri atas deformasi plastis, retak leleh dan retak pada temperatur rendah dan menurut NAPA 1996, retak leleh dipengaruhi beberapa faktor, yaitu: struktur perkerasan, aspal, kadar aspal, VMA, karakteristik agregat pondasi (*cemented material*) dan karakteristik tanah dasar.

Sedangkan *rutting*/deformasi plastis sebagai akibat “kekakuan aspal rendah, kadar aspal tinggi dan VIM rendah” (fungsi dari gradasi dan kadar aspal).

Gradasi adalah propertis yang sangat penting dari campuran beraspal panas, karena mempengaruhi semua aspek campuran. Ketika proporsi agregat menjadi ukuran yang berbeda maka kontraktor dapat menentukan apa jenis tekstur permukaan perkerasan yang diinginkan. Spesifikasi gradasi adalah menggunakan grafik dengan *power* 0,45 untuk penentuan struktur agregat. Hal ini dapat digunakan untuk menunjukkan stabilitas, ketahanan dan *constructability*. Struktur agregat padat tidak memberi ruang/rongga untuk aspal.

Hubungan antara kadar aspal dengan stabilitas dan durabilitas campuran beraspal, disajikan pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1. Hubungan antara kadar aspal dengan stabilitas dan durabilitas campuran beraspal (Sumber: WSDOT, 2005).

5.3 Sifat-sifat Campuran Padat Menurut Volume

Spesifikasi superpave, dalam menetapkan sifat campuran beraspal panas adalah berdasarkan sifat-sifat campuran padat menurut volume. Berdasarkan kriteria volume tersebut adalah untuk mengatasi deformasi permanen, kelelahan retak dan retak pada temperatur rendah. Untuk itu, karakteristik campuran beton aspal harus memiliki:

- Kadar aspal yang cukup untuk keawetan, yakni dengan rongga terisi aspal (*Void Filled Bitumen, VFB*) yang tepat;
- Rongga dalam agregat (*Void in Mineral Aggregate, VMA*) dan rongga dalam campuran (*Void in Mix, VIM*) yang cukup;
- Kemudahan pengerjaan yang cukup; dan
- Kinerja yang memuaskan selama umur rencana perkerasan

5.4. Spesifikasi Umum

5.4.1. Umum

Spesifikasi Umum Bina Marga mengenal 3 (tiga) kelompok pembagian karakteristik campuran berdasarkan beban lalu-lintas, yaitu untuk lalu-lintas

<0,5 juta ESA digunakan Latasir (Lapis Tipis Aspal Pasir/*Sand Sheet*), untuk lalu lintas 0,5 – 1 juta ESA digunakan Lataston (Lapis Tipis Beton Aspal/HRS) dan untuk lalu lintas >1 juta digunakan Laston (Lapisan Beton Aspal, AC). Aspal yang digunakan adalah aspal dari jenis Aspal Keras Pen 40, Aspal Keras Pen 60, Aspal Polimer, Aspal dimodifikasi dengan Asbuton dan Aspal Multigrade. Kecuali untuk lalu-lintas berat seperti jalur utara Pulau Jawa, maka aspal yang digunakan adalah aspal keras pen 60.

5.4.2 Karakteristik Agregat

Mengacu terhadap spesifikasi umum bidang jalan dan jembatan yang berlaku di Bina Marga, yaitu sesuai spesifikasi edisi Tahun 2010, maka karakteristik agregat untuk campuran beton aspal harus memenuhi ketentuan pada Tabel 5.1, untuk agregat kasar dan Tabel 5.2, untuk agregat halus serta untuk gradasi agregat campuran (gabungan) harus memenuhi ketentuan pada Tabel 5.3.

Tabel 5.1. Ketentuan agregat kasar

Pengujian	Standar	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan natrium dan magnesium sulfat	SNI 3407:2008	Mak. 12 %
Abrasi dengan mesin Los Angeles	SNI 2417:2008	Mak. 40 %
Kelekatan agregat terhadap aspal	SNI 03-2439-1991	Min. 95 %
Angularitas:		
Angularitas (kedalaman dari permukaan <10 cm)	ASTM D 5821-01	95/90 ^(*)
Angularitas (kedalaman dari permukaan ≥ 10 cm)		80/75 ^(*)
Partikel pipih dan lonjong	RSNI T-01-2005	Mak. 10 %
Material lolos saringan No. 200	SNI 03-4142-1996	Mak. 1 %

Tabel 5.2. Ketentuan agregat halus

Pengujian	Standar	Nilai
Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Min 50%, untuk SS, HRS dan AC bergradasi Halus Min 70% untuk AC bergradasi kasar
Material lolos saringan No. 200 (0,075 mm)	SNI 03-4142-1996	Maks 8%
Kadar Lempung	SNI 3423 : 2008	Maks 1%
Angularitas:	SNI 03-6877-2002	
Angularitas (kedalaman dari permukaan <10 cm)		Min 45%
Angularitas (kedalaman dari permukaan ≥ 10 cm)		Min 40%

Tabel 5.3. Ketentuan gradasi agregat gabungan

Ukuran Ayakan (mm)	% Berat Yang Lolos terhadap Total Agregat dalam Campuran											
	Latasir (SS)		Latasir (HRS)				Laston (AC)					
			Gradasi Seriang ²		Gradasi Serit Seriang ¹		Gradasi Halus			Gradasi Kasar ¹		
	Kelas A	Kelas B	WC	Base	WC	Base	WC	BC	Base	WC	BC	Base
37,5									100			100
25								100	90 - 100		100	90 - 100
19	100	100	100	100	100	100	100	90 - 100	75 - 90	100	90 - 100	75 - 90
12,5			90 - 100	80 - 100	87 - 100	90 - 100	99 - 100	74 - 90	61 - 79	99 - 100	71 - 90	55 - 76
9,5	90 - 100		75 - 85	65 - 90	55 - 88	59 - 70	72 - 90	64 - 82	47 - 67	72 - 90	50 - 80	45 - 60
4,75							54 - 69	47 - 64	38,5 - 50	43 - 63	37 - 56	28 - 39,5
2,25		75 - 100	50 - 72	35 - 55	30 - 62	33 - 64	39,1 - 53	34,6 - 46	28,8 - 37	29 - 39,1	23 - 34,6	19 - 26,8
1,18							31,6 - 40	28,3 - 38	24,1 - 35	19 - 28,6	15 - 22,5	12 - 18,1
0,600			35 - 60	15 - 35	20 - 45	15 - 35	25,1 - 30	20,7 - 28	17,6 - 22	13 - 19,1	10 - 16,7	7 - 15,6
0,300					15 - 35	5 - 35	15,5 - 22	13,7 - 20	11,4 - 16	9 - 15,5	7 - 13,7	5 - 11,4
0,150							9 - 15	4 - 13	4 - 10	6 - 13	5 - 11	4,5 - 9
0,075	10 - 15	8 - 15	5 - 10	2 - 8	6 - 10	4 - 8	4 - 10	4 - 8	3 - 6	4 - 10	4 - 8	3 - 7

5.4.3 Karakteristik Aspal

Untuk tipe aspal keras yang digunakan untuk campuran beraspal panas harus memenuhi persyaratan sesuai ketentuan pada Tabel 5.4.

Tabel 5.4. Ketentuan-ketentuan untuk Aspal Keras

No	Jenis Pengujian	Metoda Pengujian	Tipe I Aspal Pen. 60-70	Tipe II Aspal yang Dimodifikasi		
				A ⁽¹⁾	B	C
				Asbuton yang diproses	Elastomer Alam (Latex)	Elastomer Sintetis
1.	Penetrasi pada 25°C (dmm)	SNI 06-2456-1991	60-70	40-55	50-70	Min.40
2.	Viskositas 135 °C (cSt)	SNI 06-6441-2000	385	385 - 2000	≤ 2000 ⁽⁵⁾	≤ 3000 ⁽⁵⁾
3.	Titik Lembek (°C)	SNI 06-2434-1991	≥ 48	-	-	≥ 54
4.	Indeks Penetrasi ⁴⁾	-	> -1,0	≥ - 0,5	> 0.0	> 0,4
5.	Duktilitas pada 25°C, (cm)	SNI-06-2432-1991	≥ 100	≥ 100	≥ 100	≥ 100
6.	Titik Nyala (°C)	SNI-06-2433-1991	≥ 232	≥ 232	≥ 232	≥ 232
7.	Kelarutan dalam Toluene; % berat	RSNI M-04-2004	≥ 90	≥ 90 ⁽¹⁾	≥ 99	≥ 99
8.	Berat Jenis	SNI-06-2441-1991	≥ 1,0	≥ 1,0	≥ 1,0	≥ 1,0
9.	Stabilitas Penyimpanan (°C)	ASTM D 5976 part 6.1	-	≤ 2,2	≤ 2,2	≤ 2,2
Pengujian Residu hasil TFOT atau RTFOT :						
10.	Berat yang Hilang (%)	SNI 06-2441-1991	≤ 0.8 ²⁾	≤ 0.8 ²⁾	≤ 0.8 ³⁾	≤ 0.8 ³⁾
11.	Penetrasi pada 25°C (%)	SNI 06-2456-1991	≥ 54	≥ 54	≥ 54	≥ 54
	Indeks Penetrasi ⁴⁾	-	> -1,0	≥ - 0,5	> 0.0	> 0,4
12.	Keelastisan setelah Pengembalian (%)	RSNI M-05-2005	-	-	> 45	> 60
13.	Duktilitas pada 25°C (cm)	SNI 062432-1991	> 100	> 50	> 50	-
	Partikel yang lebih halus dari 150 micron (m) (%)		Min. 95 ⁽¹⁾	Min. 95 ⁽¹⁾	Min. 95 ⁽¹⁾	Min. 95 ⁽¹⁾

Catatan:

- 1) Hasil pengujian adalah untuk bahan pengikat yang diekstraksi dengan menggunakan metoda SNI 2490:2008. Kecuali untuk pengujian kelarutan dan gradasi mineral dilaksanakan pada seluruh bahan pengikat termasuk kadar mineral.
- 2) Untuk pengujian residu aspal Tipe I, Tipe II – A dan Tipe II – B residunya didapat dari pengujian TFOT sesuai dengan SNI 06-2440-1991.
- 3) Untuk pengujian residu aspal Tipe II-C residunya didapat dari pengujian RTFOT sesuai dengan SNI 03-6835-2002.
- 4) Nilai Indeks Penetrasi menggunakan rumus: Indeks Penetrasi = (20-500A) / (50A+1)
- 5) Pabrik pembuat bahan pengikat Tipe II dapat mengajukan metoda pengujian alternatif untuk viskositas bilamana sifat-sifat elastomerik atau lainnya didapati berpengaruh terhadap akurasi pengujian penetrasi, titik lembek atau standar lainnya. Metoda pengujian viskositas Brookfield harus digunakan untuk Tipe II C

5.4.4 Penyeleksian Kadar Aspal Rencana

Spesifikasi umum Bina Marga dalam penyeleksian kadar aspal rencana, selain mempertimbangkan *volumetric* campuran (VIM, VMA dan VFB) juga nilai stabilitas Marshall serta Pelelehan. Metoda uji yang digunakan adalah metode Marshall dan kepadatan membal (*percentage refusal density*, PRD).

Untuk mengevaluasi ketahanan campuran terhadap pengaruh kelembaban atau air, maka pada dilakukan pengujian Stabilitas Marshall Sisa (*Marshall Stability Retained*, %) setelah perendaman selama 24 jam, 60 °C (%).

5.4.5 Karakteristik Campuran

Dalam rangka penentuan formula campuran rancangan adalah menggunakan metoda uji Marshall dan berdasarkan kepadatan membal menggunakan alat pemadat getar listrik (*percentage at refusal density*, PRD). Kriteria campuran beton aspal adalah di samping parameter Marshall juga kriteria volumetrik. Campuran beraspal terdiri dari agregat, aspal dan *filler*. Bila diperintahkan oleh Direksi Pekerjaan aditif dapat ditambahkan untuk menghasilkan sifat-sifat khusus diluar ketentuan. Persyaratan karakteristik campuran untuk Latasir, Lataston dan Laston serta Laston Dimodifikasi diperlihatkan berturut-turut pada Tabel 5.5, 5.6, 5.7 dan 5.8 (Sumber: Bina Marga, 2010).

Tabel 5.5. Ketentuan sifat campuran Latasir

Sifat-sifat campuran		Latasir Kelas A & Kelas B
Jumlah tumbukan per bidang		50
Penyerapan aspal, %	Mak	2,0
Rongga dalam campuran (VIM), % ⁽²⁾	Min	3,0
	Mak	6,0
Rongga dalam agregat (VMA), %	Min	20
Rongga terisi aspal (VFB), %	Min	75
Stabilitas marshall, kg	Min	200
Pelelehan, mm	Min	2
	Mak	3
Marshall quotient, kg/mm	Min	80
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60 °C (%)	Min	90

Tabel 5.6. Ketentuan sifat campuran Lataston

Sifat-sifat campuran		Lataston Senjang dan Semi Senjang	
		WC	Base
Jumlah tumbukan per bidang		75	
Penyerapan aspal, %	Maks.	1,7	
Rongga dalam campuran (VIM), % ⁽²⁾	Min.	4,0	
	Maks.	6,0	
Rongga dalam agregat (VMA), %	Min.	18	17
Rongga terisi aspal (VFB), %	Min.	68	
Stabilitas marshall, kg	Min.	800	800
Pelelehan, mm	Min.	3	
Marshall quotient, kg/mm	Min.	250	
Rongga dalam campuran pada kepadatan membal (refusal), % ⁽⁴⁾	Min.	3	
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60 °C (%) ⁽³⁾	Min	90	

Tabel 5.7. Ketentuan sifat campuran Laston

Sifat-sifat campuran		Laston		
		WC	BC	Base
Jumlah tumbukan per bidang		75		112 ⁽¹⁾
Penyerapan aspal, %	Maks.		1,2	
	Min.		3,5	
Rongga dalam campuran (VIM), % ⁽²⁾	Maks.		5,0	
Rongga dalam agregat (VMA), %	Min.	15	14	13
Rongga terisi aspal (VFB), %	Min.	65	63	60
Stabilitas marshall, kg	Min.	800	800	1800 ⁽¹⁾
Pelelehan, mm	Min.	3		4,5 ⁽¹⁾
Marshall quotient, kg/mm	Min.	250		300
Rongga dalam campuran pada kepadatan membal (refusal), % ⁽⁴⁾	Min.		2,5	
Stabilitas Marshall Sisa setelah perendaman selama 24 jam, 60 °C (%) ⁽³⁾	Min		90	

Tabel 5.8. Ketentuan sifat campuran Laston Dimodifikasi (AC Mod)

Sifat-sifat campuran		Laston		
		WC Mod	BC Mod	Base Mod
Kadar aspal efektif (%)	Min.			
Jumlah tumbukan per bidang		75		112 ⁽¹⁾
Penyerapan aspal, %	Maks.		1,2	
	Min.		3,0	
Rongga dalam campuran (VIM), % ⁽²⁾	Maks.		5,5	
Rongga dalam agregat (VMA), %	Min.	15	14	13
Rongga terisi aspal (VFB), %	Min.	65	63	60
Stabilitas marshall, kg	Min.	1000	1000	2250 ⁽¹⁾

Sifat-sifat campuran		Laston		
		WC Mod	BC Mod	Base Mod
Pelelehan, mm	Min.	3		2 ⁽¹⁾
Marshall quotient, kg/mm	Min.	300		350
Rongga dalam campuran pada ⁽²⁾ Kepadatan membal (refusal), % ⁽⁴⁾	Min.		2,5	
Stabilitas Dinamis, Lintasan / mm ⁽⁵⁾	Min.		2500	
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60 °C (%) ⁽³⁾	Min		90	

Catatan:

1. Modifikasi Marshall
2. Rongga dalam campuran dihitung berdasarkan pengujian Berat Jenis Maksimum Agregat (Gmm test, SNI 03-6893-2002).
3. Direksi Pekerjaan dapat atau menyetujui AASHTO T283-89 sebagai alternatif pengujian kepekaan terhadap kadar air. Pengkondisian beku cair (*freeze thaw conditioning*) tidak diperlukan.
4. Untuk menentukan kepadatan membal (*refusal*), disarankan menggunakan penumbuk bergetar (*vibratory hammer*) agar pecahnya butiran agregat dalam campuran dapat dihindari. Jika digunakan penumbukan manual jumlah tumbukan per bidang harus 600 untuk cetakan berdiamater 6 inch dan 400 untuk cetakan berdiamater 4 inch

Pengujian *Wheel Tracking Machine* (WTM) harus dilakukan pada temperatur 60 C. Prosedur pengujian harus mengikuti seperti pada Manual untuk Rancangan dan Pelaksanaan Perkerasan Aspal, JRA *Japan Road Association* (1980).



6

HASIL KAJIAN LABORATORIUM

6.1 Hasil Pengujian Agregat

Pada studi ini agregat yang digunakan merupakan jenis batuan beku (basal, andesit) berupa agregat kasar, sedang dan halus. Agregat berasal dari dua quarry yaitu di daerah Majalengka Jawa Barat (dengan kode P-A dan P-B) dan dari Sw. Hasil uji agregat dapat dilihat pada Tabel 6.1 dan Tabel 6.2. Agregat dari kedua lokasi mempunyai nilai abrasi kecil dan sifat lainnya yang dapat digunakan sebagai bahan jalan. Namun demikian, nilai *sand equivalent* agregat halus dari Sw lebih baik dibandingkan dari majalengka. Nilai penyerapan agregat relative tidak terlalu besar sehingga penggunaan kadar aspal dapat ditekan tetapi masih dalam batas yang dapat digunakan.

Tabel 6.1. Hasil pengujian agregat untuk campuran beton aspal (Quarry Majalengka)

No	Jenis Pengujian	Hasil pengujian agregat						Satuan
		Kasar P-A	Sdg P-A	Halus P-A	Kasar P-B	Sdg P-B	Halus P-B	
1	Abrasi	26						%
2	Impact							%
3	Kepipihan dan kelonjongan (Butiran pipih dan lonjong) %		1,60			1,30		%
4	Sand equivalent	50,4						%
5	Kelekatan aspal		95+					

No	Jenis Pengujian	Hasil pengujian agregat						Satuan
		Kasar P-A	Sdg P- A	Halus P- A	Kasar P-B	Sdg P-B	Halus P-B	
6	Angularity halus			46,2				%
7	Angularity kasar	99,4/99			99,2/99			
8	Berat Jenis							
	BJ Bulk	2,645	2,651	2,724				
	BJ SSD	2,693	2,689	2,745				
	BJ apparent	2,778	2,757	2,782				
9	Penyerapan	1,804	1,448	0,758				
10	gradasi							
	36,1 (1 ½")				100			%
	25,4 (1")	100			97			%
	19,1 (¾")	74	100		72	100		%
	12,7 (½")	39	99	100	36	99,5	100	%
	9,52 (3/8")	20	96	99,8	18	96,5	100	%
	No.4	8	31	77,9	7,5	32	78	%
	No.8	6	20	50,6	5,6	20	49	%
	No.16	5,3	15	36	4,7	15	35	%
	No.20	-	-	-	-	-	-	%
	No.30	4,6	12	26,6	4	12	26	%
	No.40	-	-	-	-	-	-	%
	No.50	4	10	20	3,5	10	19,6	%
	No.80	-	-	-	-	-	-	%
	No.100	3,2	7,5	15	2,8	7,6	14,7	%
	No.200	2,5	5,5	10,8	2,1	5,6	10,6	%

Tabel 6.2. Hasil pengujian agregat untuk campuran beton aspal (quarry Sw)

No	Jenis pengujian	Jenis pengujian			Satuan
		Agregat Kasar	Agregat Sedang	Agregat Halus	
1	Abrasi	16.91	-	-	%
2	Setara Pasir	-	-	74.2	%
3	Berat Jenis: <i>bulk</i>	2.675	2.664	2.697	-
	<i>SSD</i>	2.710	2.704	2.723	-
	<i>apparent</i>	2.774	2.776	2.770	-
4	Penyerapan	1.336	1.524	0.969	%
5	Angularity Halus	-	-	45.16	%
6	Angularity Kasar	100/100	100/100	-	%
7	Kelekatan	-	95 +	-	%
8	Partikel Pipih dan lonjong	100.0	-	-	%
9	Soundness	1.04	1.54	1.73	%
10	Bahan lolos # 200	0.7	4.0	10.2	%
11	Analisa ayakan				
	¾"				
	½"	100.0			%
	⅜"	77.5	100.0	100.0	%

No	Jenis pengujian	Jenis pengujian			Satuan
		Agregat Kasar	Agregat Sedang	Agregat Halus	
# 4		1.5	38.9	99.4	%
# 8		1.2	11.5	74.9	%
# 16		1.1	7.5	49.4	%
# 30		1.1	6.2	32.9	%
# 50		1.0	5.4	21.7	%
# 100		0.9	4.4	14.6	%
# 200		0.8	3.4	9.7	%

Bila memperhatikan spesifikasi BM, agregat pada Tabel 6.1 dan 6.2 umumnya memenuhi persyaratan mutu agregat walau demikian nilai *Sand Equivalent* tidak terlalu besar. Persentase agregat lolos # 200 agregat halus A dan B melebihi persyaratan (maksimum 8%). Persyaratan ini perlu ditinjau lagi karena pada umumnya persentase agregat lolos # 200 di *quarry* yang ada saat ini lebih besar dari 8% atau kira-kira sekitar 12%.

6.2 Hasil Pengujian Aspal

6.2.1 Hasil Pengujian Aspal Berdasarkan *Penetration Grade*

Tipikal aspal keras produksi Pertamina dan metode pengujian aspal berdasarkan *penetration grade* dapat dilihat pada Tabel 6.3. Pada kajian ini, bahan pengikat tersebut digunakan untuk campuran beraspal panas.

Tabel 6.3. Mutu Aspal Keras Pen 60 hasil uji

No.	Jenis Pengujian	Metode	Hasil pengujian
1	Penetrasi, 25 °C, 100 gr, 5 detik; 0,1 mm	SNI 06-2456-1991	62,1
2	Titik Lembek; °C	SNI 06-2434-1991	48,4
3	Titik Nyala; °C	SNI 06-2433-1991	329
4	Daktilitas, 25 °C; cm	SNI 06-2432-1991	>140
5	Berat jenis	SNI 06-2441-1991	1,0372
6	Kelarutan dalam Trichlor Etylen; % berat	SNI 06-2438-1991	99,6069
7	Penurunan Berat (dengan TFOT); % berat	SNI 06-2440-1991	0,023
8	Penetrasi setelah penurunan berat; % asli	SNI 06-2456-1991	86,9
9	Daktilitas setelah penurunan berat; % asli	SNI 06-2432-1991	>140

No.	Jenis Pengujian	Metode	Hasil pengujian
10	Titik Lembek setelah TFOT, °C	SNI 06-2434-1991	50,6
11	Temperatur campuran (viscositas 170cst), °C	AASHTO-27-1990	151-162
12	Temperatur pemadatan (viscos 280cst), °C	AASHTO-27-1990	144-149
13	Kadar parafin, % Uji bintik (spot Tes)	SK SNI M 09-1993-03	
14	- Standar Naptha - Naptha Xylene - Hephtane Xylene	AASHTO T. 102	

Catatan: Berdasarkan Tabel 6.3, aspal keras termasuk katagori aspal pen 60.

6.2.2 Hasil Pengujian Aspal Metode *Performance Grade (PG)*

Pengujian dilaksanakan pada beberapa benda uji aspal kondisi asli dan kondisi setelah RTFO yang menggambarkan kondisi aspal setelah pemanasan di alat pencampur aspal (aspal *mixing plant*) dan setelah penghamparan (dalam masa pelayanan). Hasil pengujian DSR untuk beberapa jenis aspal dapat dilihat pada Tabel 6.4. Untuk aspal murni dengan nilai pen > 60 dan titik lembek sekitar 50°C-51°C, batas temperatur deformasi ($G^*/\sin\delta$) adalah 64°C; sedangkan untuk benda uji aspal dengan nilai pen < 60°C dan titik lembek sekitar 55°C, batas temperatur deformasi adalah 70°C yang berarti mempunyai daya tahan terhadap deformasi pada temperatur yang lebih tinggi. Pada temperatur tersebut aspal masih bersifat elastis.

Pada benda uji yang diuji setelah RTFO, batas temperatur deformasi pada beberapa benda uji tersebut umumnya sama dengan nilai yang diuji pada aspal murni.

Tabel 6.4. Nilai $G^*/\sin\delta$ beberapa jenis aspal.

No	Kode	Pen	Ttk lembek °C	Dakti- litas (cm)	$G^*/\sin\delta$ (Pa)						Bts temp deformasi °C
					46 °C	52 °C	58 °C	64 °C	70 °C	76 °C	
1	b	68.0	48.5	>140	16195.30	5715.42	2294.69	988.83			58
2	b after RTFOT	56.0	49.6	>140	20963.40	8044.82	3298.45	1399.42			58
3	c	54.7	54.9	>140	29791.50	12568.40	5393.40	2394.51	1150.03	582.36	70
4	d	61.9	49.9	>140	24851.40	9102.04	3559.08	1442.72	661.22		64
5	d after RTFOT	47.1	53.7	>140	37118.30	15110.30	6338.37	2709.22	1200.34		64
6	e	62.6	50.6	>140	18084.50	6570.79	2666.05	1194.77	529.84		64
7	e after RTFOT	54.2	51.5	>140	25499.30	10027.90	4449.72	1831.54			64
8	f	52.9	56.5	>140	27598.70	11020.40	4408.62	1794.65	830.82		64
9	c after RTFOT	45.4	55.5		39293.90	17151.20	7537.95	3396.42	1591.38		70
10	f after RTFOT	42.4	57.8	>140	31370.10	11352.10	4440.59	1895.18			64
11	g	63.0	49.8	>140	20697.40	7737.39	3099.26	1322.98	612.05		64
12	h	65.3	50.9	>140	24804.30	9785.00	4088.05	1798.78	835.82		64
13	i	66.4	50.9	>140	19361.80	7663.37	3165.86	1389.55	644.66		64
14	j	68.4	51.1	>140	24889.00	10884.10	4861.97	2248.65	1142.10	597.03	64
15	k	61.0	55.6	>140	33710.20	13890.50	6461.49	3185.19	1636.95	835.80	70
16	k after RTFOT	45.0	58.8	>140	36587.20	17302.60	8274.90	4179.49	2188.15		64

Catatan:

DSR *Original Binder* = min. 1000 Pa

DSR *after RTFOT* = min. 2200 Pa

Pengujian lanjutan perlu dilakukan misal dengan mengadakan perbandingan dengan pengujian menggunakan alat DSR di laboratorium di tempat lain dan dikerjakan oleh beberapa teknisi sehingga mempunyai *repeatability* dan *reproducibility* yang lebih akurat.

6.3 Hasil Pengujian Bahan dan Campuran dengan Anti *Stripping*

Kelekatan aspal dan agregat dan pengaruh anti *stripping* pada campuran diprediksi di laboratorium dengan mengadakan pengujian terhadap *properties* dari bahan anti *stripping* dan memeriksa sifat dan pengaruhnya setelah aspal ditambah bahan anti *stripping* yang dinyatakan dengan nilai

stabilitas sisa (*Marshall stability retained*, MSR) atau *Indirect Tensile Strength Retained* (ITSR). Spesifikasi Umum, 2010 mensyaratkan nilai stabilitas sisa minimum adalah 90%.

6.3.1 Propertis Bahan Tambah Anti *Stripping*

Pengujian dilakukan terhadap 2 contoh jenis anti *stripping* dengan kode A dan C. Anti *stripping* yang digunakan merupakan bahan tambah jenis cair, produk import (berdasarkan label yang ada), warna coklat kehitaman, encer. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 6.5.

Tabel 6.5. Propertis anti *stripping*

No.	Jenis Pengujian	Satuan	Metode Pengujian	Hasil Pengujian		
				Jenis A	Jenis B	Jenis C
1	Berat Jenis	-	SNI 06-2488-1991	0.9083	0.9063	0.9733
2	Titik nyala (COC)	°C	SNI 06-2433-1991	106	107	115
3	Viskositas (25°C)	cst	AASHTO-27-1990	121.2	122.2	
	Viskositas	detik				1320

Memperhatikan Tabel 6.5 maka berat Jenis < 1 lebih kecil dari BJ air, dan viskositas tipe A lebih encer dibanding tipe C, sedangkan Titik Nyala relatif rendah. Titik nyala menggambarkan suatu ketahanan bahan terhadap penguapan atau kebakaran. Penggunaan bahan anti *stripping* dengan proporsi yang relatif sedikit kedalam aspal diperkirakan tidak akan terlalu mengganggu sifat aspal secara keseluruhan. Perubahan sifat aspal setelah adanya penambahan bahan anti *stripping* pada aspal pen 60 dengan variasi dari 0% hingga 0,7% dapat dilihat pada Tabel 6.6.

Dari Tabel 6.6, terlihat perubahan *properties* aspal setelah tambahan anti *stripping* adalah sebagai berikut:

- Akibat penambahan anti *stripping* sifat aspal menunjukkan perubahan namun relatif kecil. Makin besar penambahan % anti *stripping*, titik

nyala makin rendah, sedangkan penurunan berat (setelah TFOT) makin besar.

- Nilai penetrasi dan titik lembek setelah penambahan anti *stripping* relatif tidak banyak berubah dibandingkan sebelum penambahan.
- Nilai Penetrasi setelah penurunan berat, setelah penambahan anti *stripping* lebih rendah dibandingkan sebelumnya.

Jenis aspal masih memenuhi kriteria aspal pen 60.

Tabel 6.6. Aspal pen 60/70 + 0% s/d 0.7% aditif (*anti stripping* B).

No.	Jenis Pengujian	Hasil pengujian aspal + % anti <i>stripping</i>				Persyaratan pen 60
		0%	0.3%	0.5%	0.7%	
1	Penetrasi, 25 °C, 100 gr, 5 detik; 0,1 mm	62,1	63,2 & 63	63,2	63,4	60 – 79
2	Titik Lembek; °C	48,4	48,3&48,4	48.3	48.0	48 – 58
3	Titik Nyala; °C	329	316	312	310	Min. 200
4	Daktilitas, 25 °C; cm	>140	>140	>140	>140	Min. 100
5	Berat jenis	1,0372	1,0377	1,0340	1,0336	Min. 1,0
6	Kelarutan dalam Trichlor Etylen; % berat	99,6069	99,8942			Min. 99
7	Penurunan Berat (dengan TFOT); % berat	0,023	0.0192	0.0222	0.0449	Max. 0,8
8	Penetrasi setelah penurunan berat; % asli	86,9	55&55,5			Min. 54
9	Daktilitas setelah penurunan berat; % asli	>140	>140			Min. 50
10	Titik Lembek setelah TFOT, °C	50,6	49,1&49,4			-

6.3.2 Uji Kelekatan Aspal dan Anti *Stripping* terhadap Agregat

i) Pengujian kelekatan aspal dan anti *stripping* terhadap agregat

Cara uji penyelimutan dan pengelupasan (kelekatan) pada campuran agregat-aspal diuraikan pada SNI 03-2439-200x yang diadaptasi dari AASHTO T 182-84(2002). Penyelimutan agregat terhadap aspal merupakan

persentase luas permukaan agregat yang diselimuti aspal terhadap permukaan agregat. Cara uji ini dapat digunakan untuk pengujian:

- Agregat kering dengan aspal cair
- Agregat kering dengan aspal emulsi
- Agregat basah dengan aspal cair, dan
- Agregat kering dengan aspal semi padat (aspal keras dengan nilai pen 10 sampai dengan 300).

Berdasarkan cara uji tersebut, nilai kelekatan agregat terhadap aspal adalah 95⁺ yang berarti bahwa memenuhi kriteria mutu aspal bila digunakan sebagai bahan konstruksi campuran.

Sebagai pengembangan cara uji dan mengetahui kinerja aspal dan bahan anti *stripping*, dilakukan uji kelekatan dengan cara lainnya, meliputi:

- Pengujian efektifitas penambahan anti *stripping* pada MC 70 melalui uji kelekatan aspal terhadap batu *silica*.
- Kelekatan dengan metode *Vialit*.

Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 6.7. Pada Tabel 6.7 menunjukkan bahwa penambahan persentase anti *stripping* dapat menaikkan persentase pelekatan aspal terhadap agregat. Menggunakan metode No 1 pengaruh penambahan anti *stripping* kedalam aspal pada pengujian lebih dapat terlihat. Lama perendaman selama 24 jam.

Tabel 6.7. Pengujian efektifitas penambahan anti *stripping* pada MC 70 melalui uji kelekatan aspal terhadap batu *silica* dan batu andesit. Jenis anti *stripping* A.

No.	Jenis bahan	Jenis uji	Persentase anti <i>stripping</i> (%)	Hasil jumlah terselimuti (%)
1	MC 70	Efektifitas penambahan anti <i>stripping</i> pada MC 70 melalui uji kelekatan aspal terhadap batu <i>silica</i>	0,0	40
			0,1	70
			0,2	80
2	Pen 60 & agregat andesit	Vialit	0,0	97
			0,1	99
			0,2	98
			0,3	99
			0,4	100

- ii) Pengujian efektivitas penambahan anti *stripping* jenis A pada aspal pen 60 melalui uji kelekatan aspal terhadap batu kapur sebelum dan sesudah ditambah air.

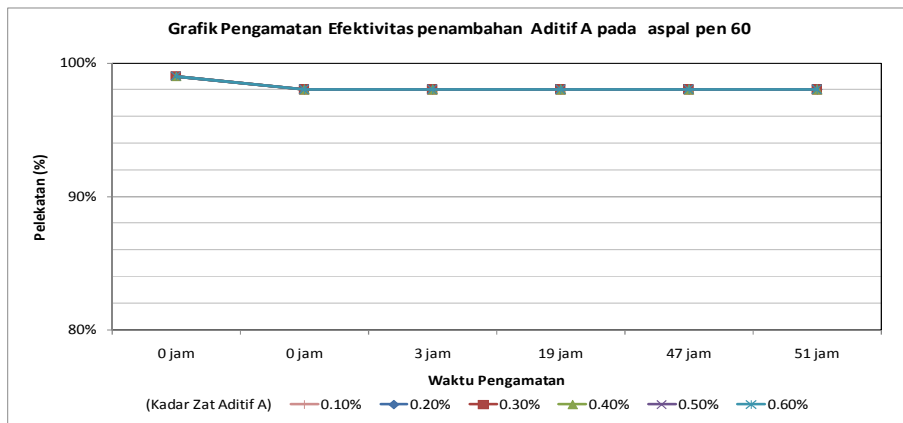
Pengamatan dilakukan pada kondisi sebelum dan sesudah ditambah air pada waktu pengujian, sejak awal pengujian hingga 51 jam. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 6.8 dan Gambar 6.1.

Dari Tabel 6.8 dan Gambar 6.1 dapat diuraikan sebagai berikut:

- Penambahan aditif jenis A pada aspal pen 60 tidak menghasilkan efek yang signifikan, kelekatan aspal terhadap batu kapur/karang cenderung merata hanya tingkat ketebalannya yang berbeda. Sebelum penambahan aditif, kelekatan aspal sudah di atas 95%.
- Tidak ada perubahan yang signifikan selama sampel disimpan.

Tabel 6.8. Nilai kelekatan dengan penambahan anti *stripping* A 0% hingga 0,60% dengan aspal pen 60, jenis agregat batu kapur.

Kadar zat Aditif A (%)	Pengamatan (%)					
	5-Oct-11		6-Oct-11		7-Oct-11	
	0 jam (belum di tambah air)	0 jam (belum di tambah air)	3 jam	19 jam	47 jam	51 jam
0%	98%	97%	97%	97%	97%	97%
0.10%	99%	98%	98%	98%	98%	98%
0.20%	99%	98%	98%	98%	98%	98%
0.30%	99%	98%	98%	98%	98%	98%
0.40%	99%	98%	98%	98%	98%	98%
0.50%	99%	98%	98%	98%	98%	98%
0.60%	99%	98%	98%	98%	98%	98%



Gambar 6.1. Nilai kelekatan dengan penambahan anti *stripping* 0% hingga 0,60% pada aspal pen 60, agregat batu kapur.

- iii) Pengujian efektivitas penambahan anti *stripping* jenis B pada aspal pen 60 melalui uji kelekatan aspal terhadap batu kapur sebelum dan sesudah ditambah air.

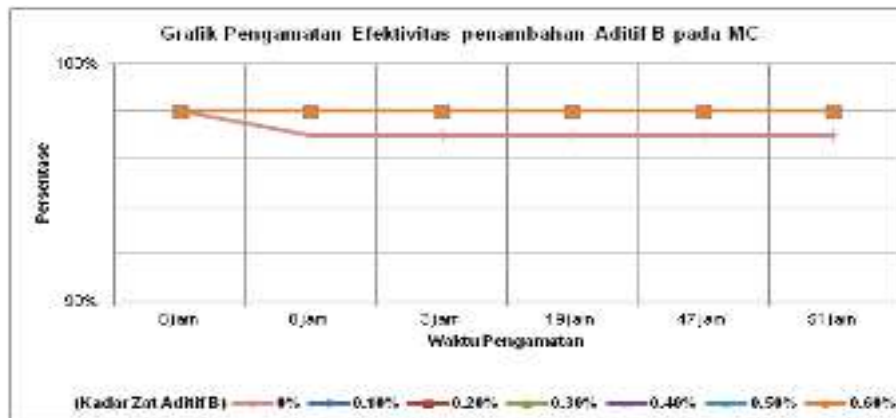
Seperti halnya pada anti *stripping* ii), pengamatan dilakukan pada kondisi sebelum dan sesudah ditambah air pada waktu pengujian, sejak awal pengujian hingga 51 jam. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 6.9 dan Gambar 6.2.

Pada Tabel 3.5 menunjukkan bahwa:

- Penambahan aditif B pada aspal pen 60 tidak menghasilkan efek yang signifikan, kelekatan aspal terhadap batu kapur cenderung merata hanya tingkat ketebalannya yang berbeda. Sebelum penambahan aditif, kelekatan aspal sudah diatas 95%.
- Tidak ada perubahan yang signifikan selama sampel disimpan.

Tabel 6.9. Nilai kelekatan dengan penambahan anti *stripping* B 0% hingga 0,60% dengan aspal pen 60.

Kadar zat Aditif B(%)	Pengamatan (%)					
	12-Oct-11		13-Oct-11		14-Oct-11	
	0 jam belum di tambah air	0 jam setelah di tambah air	3 jam	19 jam	47 jam	51 jam
0%	98%	97%	97%	97%	97%	97%
0.10%	98%	98%	98%	98%	98%	98%
0.20%	98%	98%	98%	98%	98%	98%
0.30%	98%	98%	98%	98%	98%	98%
0.40%	98%	98%	98%	98%	98%	98%
0.50%	98%	98%	98%	98%	98%	98%
0.60%	98%	98%	98%	98%	98%	98%



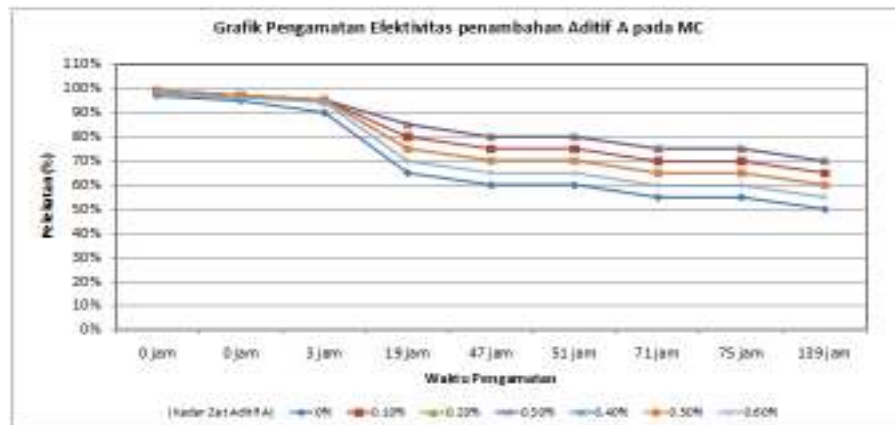
Gambar 6.2. Nilai kelekatan dengan penambahan anti *stripping* B pada aspal pen 60, hingga 0,60%.

- iv) Pengujian efektivitas penambahan anti *stripping* jenis A, pada aspal jenis MC.

Pengamatan dilakukan pada kondisi sebelum dan sesudah ditambah air pada waktu pengujian, sejak awal pengujian hingga 139 jam. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 6.10 dan Gambar 6.3.

Tabel 6.10. Nilai kelekatan aspal dengan variasi perendaman awal hingga 139 jam

Kadar zat aditif A (%)	Pengamatan visual (%)								
	25-Oct-11		26-Oct-11		27-Oct-11		28-Oct-11		31-Oct-11
	0 jam Sblm di tambah air	0 jam Stlh di tambah air	3 jam	19 jam	47 jam	51 jam	71 jam	75 jam	139 jam
0.00	97	95	90	65	60	60	55	55	50
0.10	99	97	95	80	75	75	70	70	65
0.20	99	97	95	85	80	80	75	75	70
0.30	99	97	95	85	80	80	75	75	70
0.40	98	96	95	75	70	70	65	65	60
0.50	99	97	95	75	70	70	65	65	60
0.60	98	96	94	70	65	65	60	60	55



Gambar 6.3. Nilai kelekatan aspal pada penambahan aditif A pada aspal jenis MC dengan variasi perendaman awal hingga 139 jam

Pada Tabel 3.6 dan Gambar 3.4 menunjukkan bahwa anti *stripping* A pada MC yang efektif adalah 0.3%. Makin lama waktu perendaman persentase pelekatan makin menurun.

- v) Pengujian efektivitas penambahan antistripping jenis B, pada aspal jenis MC.

Pengamatan dilakukan pada kondisi sebelum dan sesudah ditambah air pada waktu pengujian, sejak awal pengujian hingga 139 jam. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 6.11 dan Gambar 6.4.

Tabel 6.11. Nilai kelekatan aspal dengan variasi perendaman awal hingga 139 jam

Kadar zat Aditif A (%)	Pengamatan Visual (%)								
	1-Nov-11			2-Nov-11	3-Nov-11	4-Nov-11	4-Nov-11	7-Nov-11	
	0 jam belum ditambah air	0 jam setelah ditambah air	3 jam	19 jam	47 jam	51 jam	71 jam	75 jam	139 jam
0.00	95	93	89	20	15	15	10	10	2
0.10	98	96	95	65	60	60	55	55	45
0.20	98	96	95	70	65	65	60	60	50
0.30	98	96	95	75	70	70	65	65	60
0.40	98	96	94	70	65	65	60	60	45
0.50	98	96	93	70	65	65	60	60	45
0.60	98	96	93	65	60	60	55	55	40

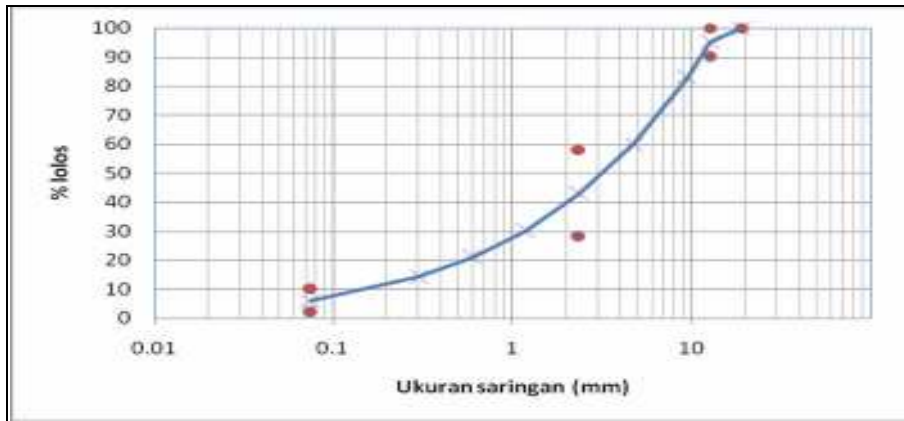


Gambar 6.4. Nilai kelekatan aspal pada penambahan aditif B pada MC dengan variasi perendaman awal hingga 139 jam

Tabel 6.11 dan Gambar 6.4, menunjukkan bahwa anti *stripping* B pada MC yang efektif adalah 0.3%. Makin lama waktu perendaman persentase pelekatan makin menurun.

- vi) Variasi penambahan bahan anti *stripping* pada campuran beton aspal
 Bahan anti *stripping* jenis A ditambahkan pada aspal pen 60 yang digunakan sebagai campuran beton aspal dengan variasi 0 %; 0,1 %; 0,2%; 0,3% dan 0,4 %. Sejumlah benda uji Marshall diameter 10 cm,

kadar aspal 6,1 % dan gradasi AC WC (Gambar 6.5), serta persentase anti *stripping* seperti di atas disiapkan untuk pengujian stabilitas Marshall dan *Indirect Tensile Strength* (ITS) dengan set benda uji yang diuji langsung (*unsoaked*) dan direndam (*soaked*). Kadar aspal sebesar 6,1% merupakan kadar aspal optimum yang didapat dari perencanaan hasil percobaan Marshall.

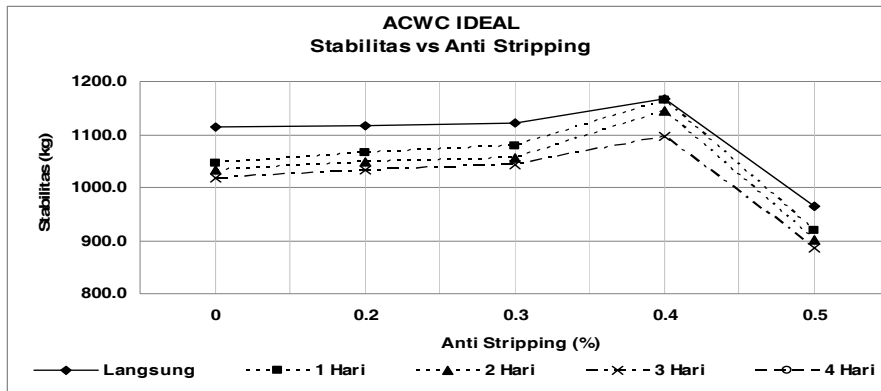


Gambar 6.5. Gradasi campuran beton aspal (ACWC) untuk percobaan

Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 6.6 s.d. 6.9.

a) Hubungan nilai stabilitas Marshall dengan persentase bahan anti *stripping*

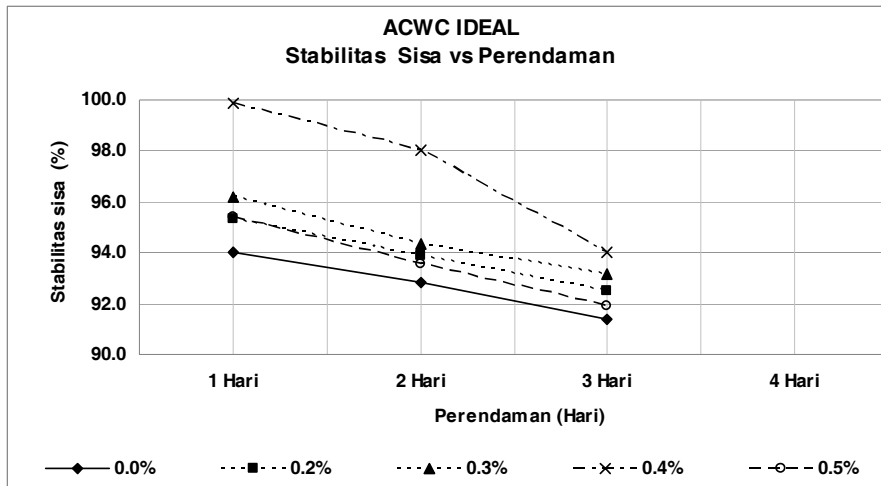
Pada Gambar 6.6 menunjukkan hubungan antara nilai stabilitas Marshall dengan persentase bahan anti *stripping* dan waktu perendaman. Penambahan bahan anti *stripping* makin besar, nilai stabilitas langsung maupun rendaman makin besar namun pada suatu saat terlihat menurun. Waktu perendaman makin lama, nilai stabilitas makin rendah.



Gambar 6.6. Hubungan stabilitas KA 6,1% dengan % anti *stripping* serta waktu perendaman.

- b) Hubungan nilai stabilitas sisa dari Marshall dengan variasi waktu perendaman

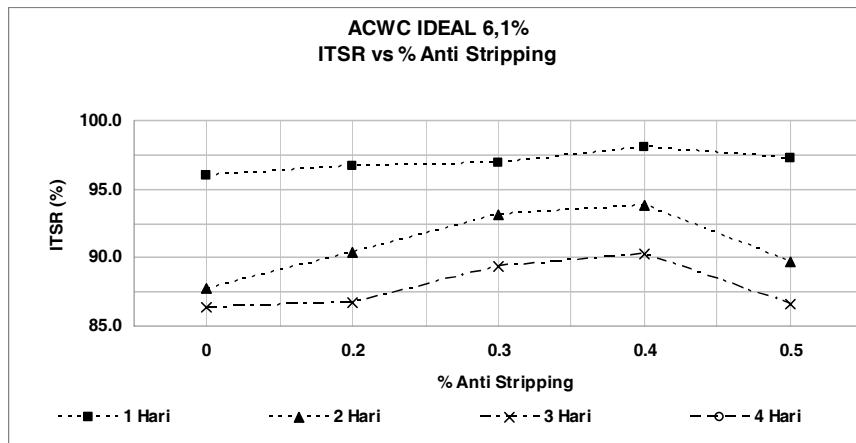
Nilai stabilitas diuji pada rongga udara dalam campuran (VIM) pada kadar aspal optimum. Gambar 6.7 menunjukkan hubungan nilai stabilitas sisa dari Marshall (*Marshall Stability Retained, MSR*) dengan variasi waktu perendaman. Nilai stabilitas sisa benda uji yang menggunakan bahan anti *stripping* lebih besar dibandingkan yang tanpa anti *stripping*. waktu perendaman makin lama nilai MSR makin rendah. Pada contoh ini nilai MSR paling besar adalah yang menggunakan bahan anti *stripping* sebesar 0,40%.



Gambar 6.7. Hubungan stabilitas sisa dengan variasi perendaman serta % anti *stripping*

- c) Hubungan nilai *Indirect Tensile Strength Retained* dengan persentase bahan anti *stripping*

Pada pengujian ITSr cara AASHTO T 283-07, pembuatan benda uji dilakukan dengan membuat benda uji diameter 15 cm dan dipadatkan dengan alat giratori untuk mencapai nilai VIM = 7%. Pada kajian ini, percobaan dilakukan dengan pembuatan benda uji dengan alat Marshall pada rongga udara (VIM) = 7% dan pengondisian pada *cycle* temperatur - 18°C (SHRP) tidak dilakukan dengan pertimbangan bahwa untuk daerah tropis temperatur di bawah 0°C tidak pernah terjadi.

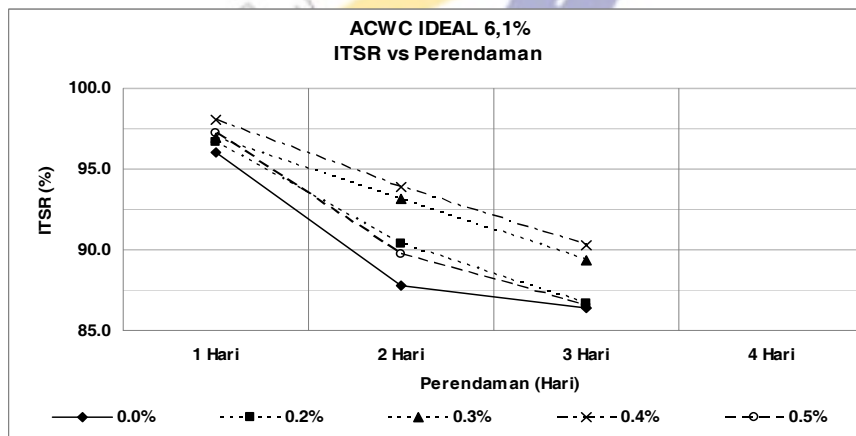


Gambar 6.8. Hubungan ITSR dengan % anti *stripping* serta waktu perendaman.

Gambar 6.8 menunjukkan bahwa nilai ITSR akan naik dengan penambahan anti *stripping*, walaupun demikian persentase anti *stripping* yang besar tidak selalu menunjukkan kenaikan ITSR.

d) ITSR dengan variasi waktu perendaman

Pada Gambar 6.9 menunjukkan ITSR anti *stripping* lebih besar dibandingkan tanpa anti *stripping*. Perendaman makin lama nilai ITSR makin rendah.

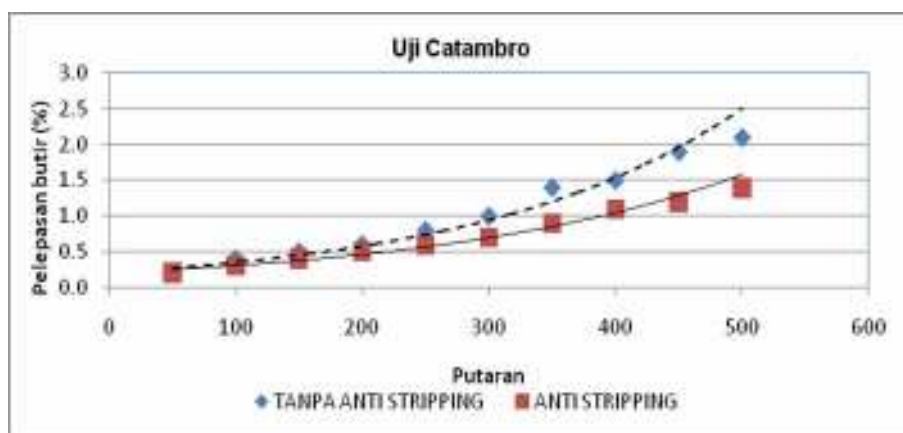


Gambar 6.9. Hubungan ITSR dengan waktu perendaman serta % anti *stripping*.

vii) Ketahanan terhadap pelepasan butir (Catambro)

Pengujian ketahanan terhadap pelepasan butir dilakukan dengan metode Catambro menggunakan alat penguji Abrasi Los Angeles. Benda uji Marshall dimasukkan dalam alat uji dan diputar sebanyak 500 putaran. Pelepasan butir ditentukan dengan membandingkan berat awal sebelum dan sesudah pengujian (CEN TC 227/WG1,1995).

Gambar 6.10 menunjukkan hasil uji catambro campuran panas (kadar aspal 6,1% dan anti *stripping* 0.3%) dengan dan tanpa anti *stripping*. Gambar 6.10 menunjukkan bahwa besarnya pelepasan butir pada benda uji campuran dengan anti *stripping* lebih kecil dibandingkan benda uji campuran tanpa anti *stripping*.

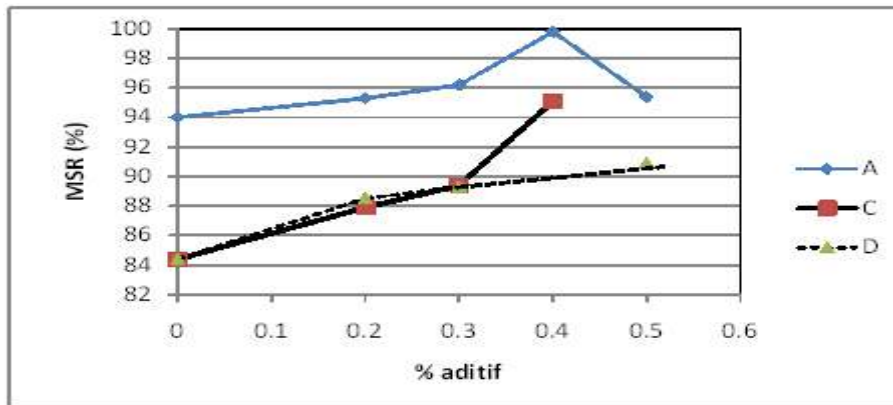


Gambar 6.10. Pengujian Catambro campuran panas kapur, agregat karang, agregat biasa.

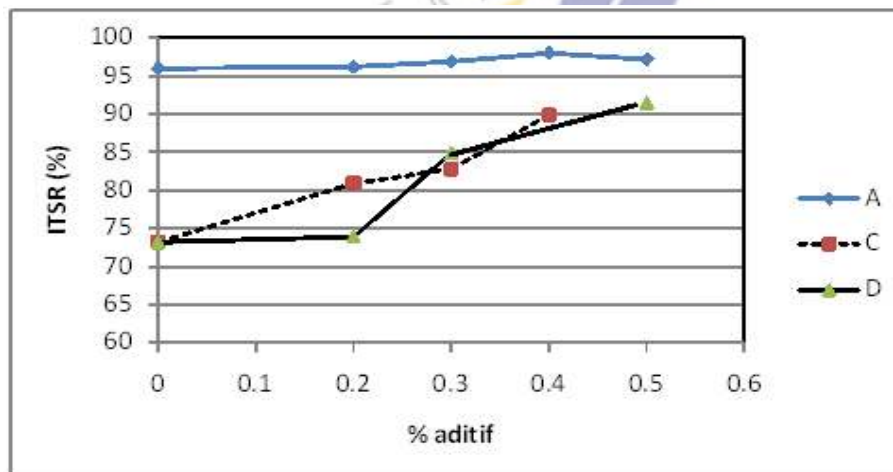
Pembahasan

Berdasarkan pengujian Marshall, umumnya penambahan anti *stripping* tidak mempengaruhi besarnya stabilitas secara signifikan, namun pengaruh anti *stripping* cenderung mereduksi pengaruh air sehingga ITSr atau MSR cenderung lebih besar dibandingkan apabila tanpa anti *stripping*.

ITS atau Marshall rendaman yang menggunakan anti *stripping* cenderung lebih besar dibandingkan tanpa anti *stripping*. Perilaku ITSr dan MSR pada beberapa jenis *additive* lainnya dapat dilihat pada Gambar 6.11 dan 6.12. Kenaikan nilai ITSr sebelum dan sesudah penambahan anti *stripping* bervariasi tergantung bahan dan jenis campuran, kenaikan MSR untuk anti *stripping* 0,3% berkisar antara 2 – 15%, sedangkan ITSr berkisar 2- 12%.



Gambar 6.11. Variasi kenaikan MSR dengan variasi % penambahan aditif pada beberapa jenis aditif.



Gambar 6.12. Variasi kenaikan ITSr dengan variasi % penambahan aditif pada beberapa jenis aditif.

Penggunaan jumlah anti *stripping* yang besar tidak selalu menguntungkan karena walaupun ITSr atau MSR yang dihasilkan besar namun hal tersebut disebabkan pula karena nilai ITS atau MS langsung (*unsoaked*) yang menurun. Secara umum, ukuran penggunaan proporsi *additive* dapat dilihat pada Tabel 6.12, namun karena perilaku setiap jenis anti *stripping* bervariasi, agar penentuan proporsi aditif dilakukan melalui pengujian.

Tabel 6.12. Ukuran penggunaan anti *stripping* (% berat), (Stefan Gessler, unknown)

Adhesion	Amidoamine, Imidazoline	Monoamine	Diamine
Active adhesion (agregat basah) misal pada Cold Mix	1,0 – 1,5	1,0 – 1,5	0,6 – 1,0
Passive adhesion (agregat kering) misal pada Hot Mix	0,4 – 1,0	0,4 – 1,0	0,2 – 0,6

Kriteria ITSr beton aspal minimum hingga pengujian pada pengondisian hingga temperatur -18 °C adalah 0,80 (AASHTO R 35-04), apabila lebih rendah dari 0,80 maka perlu ada perbaikan kualitas campuran seperti penambahan bahan adhesi guna meningkatkan daya tahan campuran terhadap pengaruh air.

Metode pengujian pelekatan dengan batu silika dan media MC lebih terlihat kenaikan kelekatan dibandingkan dengan media aspal pen 60.

6.4 Tahapan Rancangan Campuran Beraspal dengan Metode Superpave

Sebagai contoh dilakukan penentuan rancangan campuran dengan prosedur pengujian mengadaptasi metode AASHTO T 312-08 dan *Asphalt Institute* SP-2, 1996. Rancangan penentuan kadar aspal dengan metode superpave dan alat *gyropac* secara ringkas adalah sebagai berikut:

a) Seleksi agregat

Agregat berasal dari suatu *quarry* dan direncanakan untuk lalu-lintas tinggi sehingga pemilihan jumlah giratori N_{ini} , N_{des} dan N_{max} sesuai dengan rencana dan pada pengujian ini $N_{ini} = 8$ girasi, $N_{des} = 109$ girasi dan $N_{max} = 174$ girasi.

b) Aspal

Aspal yang digunakan jenis pen 60. Metode superpave penggunaan aspal direncanakan dengan aspal PG dan misal untuk *maximum* temperatur permukaan 50°C serta udara 32°C jenis aspal yang memenuhi criteria ini minimum adalah PG 52.

c) Pemilihan gradasi campuran agregat

Dengan menggunakan gradasi superpave, gradasi pada pengujian ini divariasikan menjadi 4 gradasi. Selanjutnya dilakukan evaluasi/estimasi awal terhadap sifat bahan dari ke 4 gradasi agregat tersebut termasuk berat jenis curah (*bulk specify gravity*) dan nyata (*apparent SG*), sebelum dilakukan pengujian selanjutnya. Data evaluasi awal dapat dilihat pada Tabel 6.13.

Tabel 6.13. Propertis campuran awal

Parameter	Grading 1	Grading 2	Grading 3	Grading 4
G_{se} (BJ effective estimate)	2,763	2,745	2,727	2,698
V_{ba} (penyerapan agregat)	0,02594	0,02537	0,02758	0,02152
V_{be} (Volume aspal effective)	0,10149	0,10149	0,10149	0,10149
P_{bi} (kadar aspal trial)	5,5	5,5	5,6	5,3
S_n (nominal size agregat)	12,7	12,7	12,7	12,7

Setelah data evaluasi awal diketahui, langkah selanjutnya adalah memadatkan benda uji dan mendapatkan sifat *volumetric* dari masing-masing gradasi campuran benda uji. Minimum 2 buah benda disiapkan untuk dipadatkan dengan *gyratory* dan 1 bh benda uji disiapkan untuk penentuan G_{mm} (theoretical SG).

d) Persiapan benda uji dan pemadatan

Benda uji yang disiapkan meliputi: benda uji agregat untuk dipadatkan pada silinder *gyropac*, benda uji untuk uji Gmm dan benda uji untuk pengujian penurunan kualitas akibat pengaruh air.

Campurkan agregat dan aspal pada temperatur yang didapat sesuai dengan percobaan untuk mendapatkan hubungan temperatur dan viskositas dan tentukan temperatur pencampuran dan pemadatan. Lakukan pembuatan benda uji sesuai dengan *Asphalt Institute SP-2*. Pengkondisian benda uji cara ini agak berbeda dengan cara Marshall.

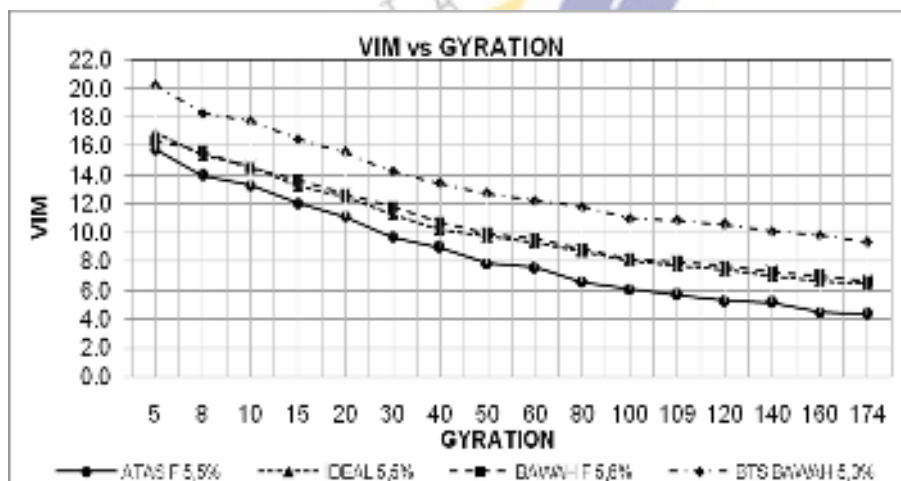
Atur *Gyropac* dengan diameter, tekanan dan sudut gyrasi yang direncanakan. Masukkan silinder benda uji pada alat *gyropac*. Lakukan pemadatan dengan *gyratory* dan baca dan catat pembacaan pada periode gyratori khususnya pada *Nini*, *Ndes* dan *N max* yang direncanakan. Lakukan tahap pengujian ini untuk semua benda uji yang direncanakan. Jumlah girasi sesuai lalu lintas rencana dan pada pengujian ini *N ini* = 8 girasi, *N des* = 109 girasi dan *N max* = 174 girasi.

Apabila pengujian telah selesai, keluarkan silinder dari *gyropac*. Benda uji dikeluarkan setelah agak dingin (sekitar 5 menit) untuk mencegah kerusakan. Ukur *Gmb* dan *Gmm* setiap benda uji.

Bandungkan nilai *SG estimate* dan *SG* pengujian masing-masing benda uji, dan hitung factor koreksi dari kedua *SG* tersebut. Kemudian sesuaikan nilai *SG* dari setiap pembacaan giratori dengan menggunakan faktor koreksi (*Gmb koreksi*). Selanjutnya %*Gmm* untuk semua variasi girasi dihitung dengan membagi *Gmb koreksi* dengan *Gmm* hasil pengujian. Tabel 6.14 dan Gambar 6.13 menunjukkan besarnya *VIM* dari 4 gradasi.

Tabel 6.14. Nilai VIM *trial* pada 4 gradasi dengan kadar aspal *trial*, ACWC Nini=8; Ndes=109; Nmax=174.

GIRASI	VIM RATA-RATA			
	ATAS FULLER	IDEAL	BAWAH FULLER	BATAS BAWAH
5	15.8	16.9	16.4	20.3
8	13.9	15.3	15.7	18.3
10	13.3	14.7	14.5	17.7
15	12.0	13.2	13.6	16.5
20	11.1	12.5	12.7	15.6
30	9.7	11.2	11.8	14.2
40	9.0	10.2	10.7	13.4
50	7.8	9.7	10.0	12.7
60	7.6	9.3	9.5	12.2
80	6.6	8.7	8.8	11.8
100	6.1	8.1	8.2	11.0
109	5.7	7.7	8.0	10.8
120	5.3	7.4	7.7	10.6
140	5.1	7.0	7.3	10.1
160	4.5	6.7	7.0	9.8
174	4.3	6.4	6.6	9.3



Gambar 6.13 Hubungan VIM *trial* dan jumlah girasi.

Nilai rata-rata dari *density* teoritis maksimum (% Gmm) untuk masing-masing campuran gradasi ditentukan berdasarkan N_{ini} (8 girasi), N_{des} (109 girasi) dan N_{max} (174 girasi) sedangkan VIM dan VMA dihitung berdasarkan formula *Asphalt Institute* SP-2. Nilai Gmm pada kadar aspal trial masing-masing gradasi serta nilai VIM dan VMA dapat dilihat pada Tabel 6.15 dan 6.16.

Tabel 6.15. Ringkasan estimasi sifat volumetric campuran masing-masing gradasi N_{ini} , @ N_{des} , N_{max} (trial)

Gradasi	Trial Kadar aspal (%)	VIM ATAU V_a (%)	VMA (%)
1	5,5	5,7	16,8
2	5,5	7,7	18,8
3	5,6	8,0	19,1
4	5,3	10,8	21,9

Tabel 6.16. Ringkasan sifat kepadatan campuran masing-masing gradasi (trial)

Gradasi	Trial Kadar aspal (%)	%G _{mm} @N=8	%G _{mm} @N=109	%G _{mm} @N=174
1	5,5	85,7	94,3	95,5
2	5,5	84,7	92,3	93,6
3	5,6	84,3	92,0	93,4
4	5,3	81,7	89,2	90,7

Dari Tabel 6.15 dan 6.16 kadar aspal perkiraan untuk mencapai *voids* 4% (96% G_{mm}@ N_{des}) ditentukan untuk masing-masing gradasi dengan formula seperti berikut:

$$P_{b \text{ estimated}} = P_{bi} - (0,4 \times (4 - V_a))$$

Keterangan:

$P_{b \text{ est}}$ = kadar aspal perkiraan

P_{bi} = kadar aspal awal (trial)

V_a = rongga udara pada N_{des}

Selanjutnya nilai estimasi *properties volumetric* @ N_{des} dan kepadatan campuran dapat dihitung (sesuai formula *Asphalt Institute*–SP2).

Ringkasan hasil hitungan dan pengujian dapat dilihat pada Tabel 6.17 dan 6.18.

Tabel 6.17. Sifat *volumetric* campuran @N_{des} (estimasi) dan kepadatan campuran

Gradasi	Trial kadar aspal (%)	Est kadar aspal (%)	VIM (%)	VMA est (%)	VFAest (%)
1	5,5	6,2	4	16,5	75,7
2	5,5	7,0	4	18,1	77,9
3	5,6	7,2	4	18,3	78,1
4	5,3	8,0	4	20,5	80,5

Tabel 6.18. Kepadatan campuran (estimasi)

Gradasi	Trial kadar aspal (%)	Est kadar aspal (%)	%G _{mm} @N=8	%G _{mm} @N=174
1	5,5	6,2	87,4	97,2
2	5,5	7,0	88,3	97,3
3	5,6	7,2	88,3	97,4
4	5,3	8,0	88,6	97,5

Dari Tabel di atas nilai estimasi dibandingkan terhadap kriteria campuran. Untuk lalu-lintas rencana dan nominal maksimum *particle size*, kriteria volumetrik adalah:

% VIM = 4%

%VMA = 13% minimum (untuk nominal size 19 mm)

%VFA = 65 – 75% (untuk 10-30 x 10⁶ ESAL)

%G_{mm}@N_{ini} = <89%

%G_{mm}@N_{max} = <98%

Selanjutnya DP (*Dust proportion ratio*) dihitung berdasarkan perbandingan % berat agregat lolos ayakan No.200 dan kadar aspal efektif (% berat campuran). Kriteria DP 0,6 – 1,2.

Setelah semua *properties* campuran dihitung dan didapat, jenis campuran dengan gradasi terpilih dapat ditentukan. Jika tidak ada yang

terpilih maka jenis gradasi atau campuran lain dapat diuji dan dievaluasi.

e) Pemilihan kadar aspal

Setelah perencanaan struktur agregat terseleksi, selanjutnya perencanaan kadar aspal dilakukan dengan membuat benda uji dengan variasi kadar aspal, masing-masing 2 benda uji dan minimum 4 perbedaan kadar aspal sebagai berikut:

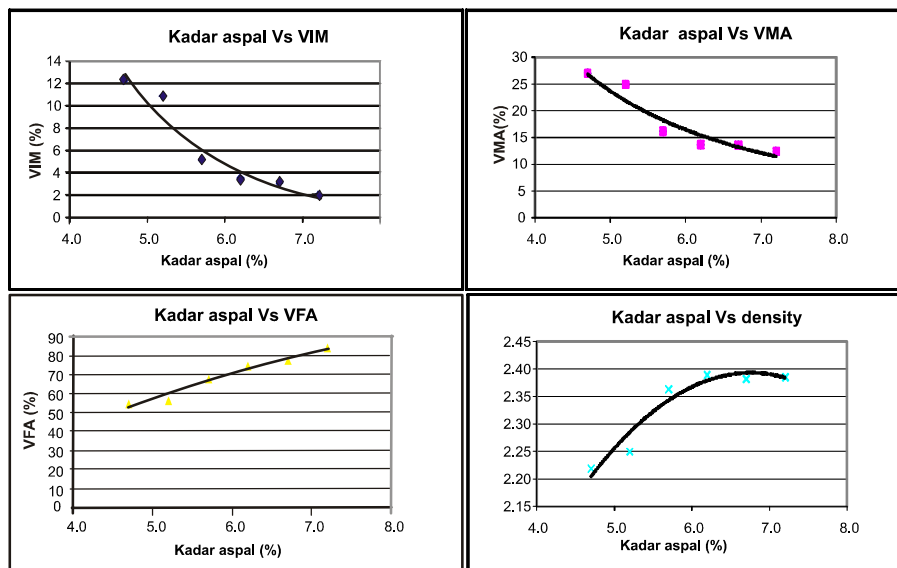
- Kadar aspal perkiraan
- Kadar aspal perkiraan $\pm 0,50\%$ dan
- Kadar aspal perkiraan $+ 1\%$

Minimum 2 benda uji juga disiapkan untuk pengujian SG teoritis, pada masing-masing kadar aspal.

Dari evaluasi, gradasi terpilih yaitu gradasi 1 karena paling ekonomis (kadar aspal rendah) dan memenuhi persyaratan perkiraan. Dengan tahap pembuatan benda uji dan tahap pengujian seperti pada uraian di atas, data hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 6.20. Kadar aspal rencana dapat ditentukan sesuai dengan kriteria yang sesuai untuk lalu lintas rencana. Hasil perencanaan kadar aspal dan sifat campuran rencana dapat dilihat pada Gambar 6.14 dan Tabel 6.19. Kadar aspal rancangan terpilih adalah 6,2%.

Tabel 6.19. Propertis campuran dengan variasi kadar aspal

Gmm	Gmm @Ndes	Ps	Gsb	Kadar asp (%)	VIM (%)	VMA (%)	VFA (%)	Density (t/m3)	Gmm @Nini	Gmm @Nmax	Gmm @Ndes
2.532	87.8	0.877	2.671	4.7	12.3	27.0	54.5	2.219	82.3	88.7	87.8
2.525	89.2	0.891	2.671	5.2	10.9	24.9	56.2	2.250	83.6	90.2	89.2
2.493	94.8	0.948	2.671	5.7	5.2	16.1	67.7	2.364	86.2	95.9	94.8
2.477	96.5	0.965	2.671	6.2	3.5	13.6	74.3	2.390	86.9	97.9	96.5
2.459	96.9	0.969	2.671	6.7	3.1	13.6	77.1	2.382	87.3	98.8	96.9
2.435	98.0	0.980	2.671	7.2	2.0	12.4	83.9	2.386	88.0	99.7	98.0



Gambar 6.14. Penentuan kadar aspal pada VIM 4%.

Tabel 6.20. Karakteristik campuran rencana pada kadar aspal rencana (6,2%) dan VIM 4%.

Sifat campuran	Hasil	Kriteria (Asphalt Institute SP-2) 1996
VIM, %	4	4
VMA, %	15	13,0 min
VFA, %	75	65-75
Dust ratio	1,64	0,6 – 1,2
%G _{mm} @N=8	86,9	<89
%G _{mm} @N=174	97,9	<98

Pada contoh di atas, *Dust Proportion* (DP) tidak memenuhi syarat, perencanaan campuran perlu dievaluasi misal dengan menurunkan penggunaan bahan lolos ayakan No. 200. DP dihitung dari formula perbandingan antara *aggregate* lolos ayakan No. 200 dan *effective aspal content*. Kriteria DP sama untuk semua kriteria lalu lintas.

Langkah-langkah yang dapat diambil untuk mengatur karakteristik campuran, yaitu jika pengujian menunjukkan bahwa campuran tidak memenuhi persyaratan desain campuran, saran-saran berikut ini (AASHTO R 35-04, 2008):

- VMA; Perubahan pada gradasi agregat atau sumber agregat biasanya diperlukan untuk mengatur VMA. Ada tiga pilihan yang memungkinkan:
 - Ubah gradasi. Bergerak kurva gradasi menuju garis kepadatan maksimum umumnya akan mengurangi VMA; bergerak menjauh dari garis kepadatan maksimum umumnya akan meningkatkan VMA.
 - Ubah material yang lolos No. 200 (0.075 mm). Meningkatkan bahan yang lolos No 200 biasanya menurunkan VMA dan penurunan bahan yang lolos No. 200 biasanya akan meningkatkan VMA.
 - Mengubah tekstur permukaan dan atau bentuk partikel fraksi agregat halus. Peningkatan penggunaan suatu agregat dengan tekstur kasar pada umumnya akan meningkatkan VMA, dan meningkatnya penggunaan agregat bulat akan mengurangi VMA.
 - Menyesuaikan VFB; Batas bawah rentang VFB jika VMA memenuhi persyaratan, selalu harus dipenuhi pada $VIM = 4\%$. Jika batas atas VFB terlampaui, maka VMA secara substansial di atas minimum yang dipersyaratkan. Hasilnya dapat merupakan campuran beraspal panas yang tidak akan mendukung lalu lintas yang padat. Jika ini terjadi, langkah-langkah yang dibahas di atas harus diambil untuk mengurangi VMA.

f) Evaluasi sensitivitas campuran terhadap pengaruh air

Tahap akhir perencanaan campuran berdasarkan Superpave adalah pengujian sensitivitas campuran terhadap pengaruh air (AASHTO T 283-2007). Benda uji dipadatkan giratori pada nilai $VIM = 7\% \pm 0,5\%$. Nilai ITSr merupakan perbandingan dari ITS *unsoaked* dan ITS *soaked*.

Sebagai litbang ITSr diuji pada beberapa kondisi benda uji sebagai berikut:

- i) Pengondisian berhenti pada rendaman benda uji pada temperatur 25°C, ITSr = 100%.
- ii) Pengondisian s.d selesai, pengondisian beberapa *cycle* hingga perendaman s.d. minus 18 °C, kemudian rendam 60 °C dan diuji pada 25 °C. ITSr. = 80,8 %.
- iii) Pengondisian s.d selesai, pengondisian beberapa *cycle* tetapi perendaman s.d. minus 18 °C tidak dilakukan. Perendaman akhir dilakukan setelah perhitungan derajat kejenuhan kemudian contoh direndam pada temperatur 60 °C dan diuji pada 25 °C. ITSr = 98,10 %.

Pengondisian seperti butir iii) diperkirakan yang lebih cocok untuk cuaca tropis karena temperatur minus 18 °C tidak pernah terjadi.

Pembahasan

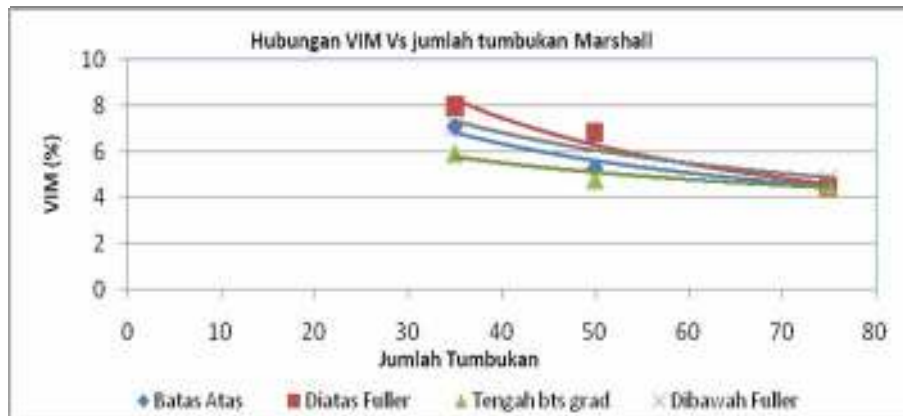
Metode pemadatan dengan giratori lebih menggambarkan realitas pemadatan di lapangan dan kehancuran benda uji akibat pemadatan dapat dikurangi.

Pemilihan struktur gradasi diperhitungkan sejak awal yang kemudian diuji dan dievaluasi, *type* gradasi yang terpilih sebagai gradasi yang memenuhi criteria, efektif dan efisien. Proporsi antara aspal dan bahan halus direncanakan proporsional dengan memperhatikan besarnya bahan halus lolos ayakan No.200, kadar aspal rancangan serta penyerapan aspal. Sensitivitas campuran padat terhadap air perlu dievaluasi hal ini berdasarkan dari hipotesa bahwa rongga udara campuran dan karakteristiknya dapat mempengaruhi kinerja dari campuran. Di laboratorium rongga udara dirancang sebesar 4% namun di lapangan diperkirakan rongga udara campuran padat yang terjadi 8-10% (SHRP, 1994). Sensitivitas campuran terhadap air diuji pada VIM = 7%.

Kepadatan maksimum 98% menggambarkan kepadatan yang dicapai setelah umur rencana atau VIM 2%. Jadi kepadatan yang terjadi bukan kepadatan ultimate. Ndesign diperhitungkan untuk *design* kepadatan 96%

atau VIM 4% (untuk rancangan dan semua kategori lalu lintas) dan 3- 5% sebagai kendali mutu lapangan (SHRP,1994).

Untuk pembuatan benda uji VIM 7% dapat dimodifikasi dengan metode Marshall dengan memvariasikan jumlah tumbukan seperti contoh Gambar 6.15. Untuk setiap gradasi dan kadar aspal yang sama.



Gambar 6.15. Variasi jumlah tumbukan Marshall Vs VIM.

Kadar aspal hasil rancangan dengan Metode Marshall pada VIM 4% adalah 5,8% sedangkan dengan metode superpave dengan alat *gyropac* sebesar 6,2% (sebelum memperhatikan *dust proportion*). Perbedaan ini diperkirakan adanya jenis alat yang berbeda dan asumsi serta kriteria yang digunakan dalam pengujian, namun demikian karena keterbatasan benda uji dan faktor lainnya dalam litbang hal ini belum merupakan suatu kesimpulan perbedaan teknologi antara metode Marshall dengan Superpave.

Metode superpave dengan *gyropac* sudah mempertimbangkan adanya kepadatan yang akan terjadi pada akhir rencana namun belum sampai membal, yaitu pada $G_{mm} @ N_{max}$ di mana kepadatan yang terjadi merupakan kepadatan maksimum namun bukan kepadatan ultimate. Pada

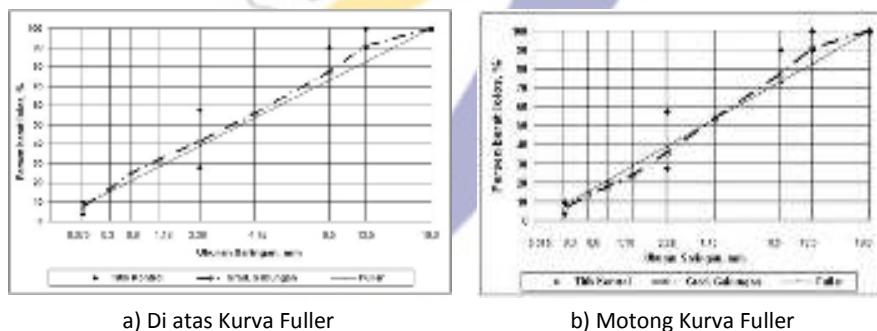
suatu umur rencana tertentu (ESAL tertentu) kepadatan membatal belum tercapai dan $G_{mm} @ N_{max}$ pada suatu girasi max (N_{max}) yang digunakan sebagai parameter kepadatan. Kepadatan rencana pada N_{design} merupakan kepadatan yang telah dikoreksi dengan kepadatan pada $N_{maksimum}$.

6.5 Hasil Pengujian Campuran Beton Aspal di Laboratorium

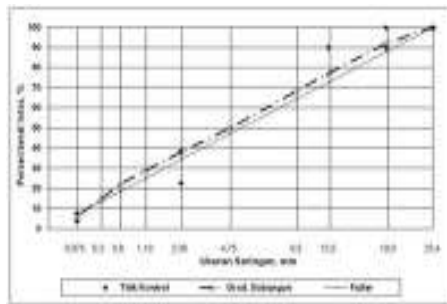
Dalam rangka mengevaluasi spesifikasi campuran beraspal panas, maka telah dilakukan pengujian di laboratorium. Jenis pengujian yang dilakukan di laboratorium adalah mencakup campuran Laston lapis permukaan (AC-WC), Laston lapis antara (AC-BC) dan Laston lapis pondasi (AC-Base).

Gradasi agregat campuran mengacu terhadap spesifikasi superpave sesuai AASHTO 2008 dan tipe aspal yang digunakan untuk campuran tersebut adalah aspal pen 60 dan aspal polimer.

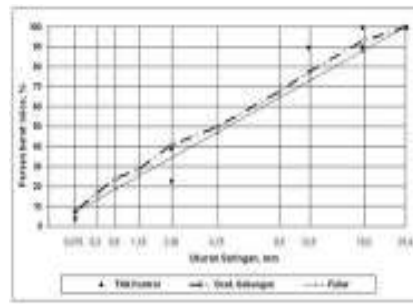
Gradasi agregat gabungan untuk ketiga campuran tersebut adalah berturut-turut disajikan pada Gambar 6.16, 6.17 dan Gambar 6.18.



Gambar 6.16. Gradasi agregat campuran AC-WC

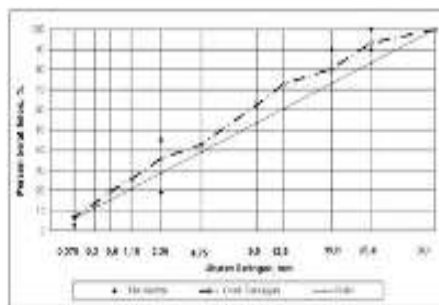


a) Di atas Kurva Fuller

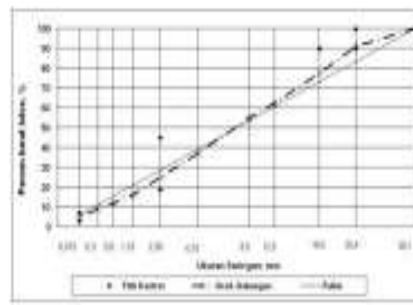


b) Motong Kurva Fuller

Gambar 6.17. Gradasi agregat campuran AC-BC



a) Di atas Kurva Fuller



b) Motong Kurva Fuller

Gambar 6.18. Gradasi agregat campuran AC-Base

Pembuatan benda uji campuran beraspal dengan menggunakan alat pemadat Marshall dengan jumlah tumbukan 2 x 75 tumbukan. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh karakteristik campuran, yaitu parameter Marshall serta volumetrik campuran untuk ketiga tipe campuran tersebut berturut-turut disajikan pada Tabel 6.21, 6.22, dan Tabel 6.23. Pada ketiga tabel tersebut terlihat bahwa karakteristik ketiga tipe campuran memenuhi persyaratan sesuai spesifikasi. Namun, apabila memperhatikan nilai stabilitas Marshall dari ketiga tipe campuran maka diperoleh bahwa semakin besar ukuran nominal maksimum agregat dan penggunaan aspal polimer maka nilai stabilitasnya semakin tinggi.

Tabel 6.21. Sifat AC-WC dengan bahan pengikat aspal Pen 60 dan Polimer

Uraian	Hasil Pengujian			
	Gradasi Di Atas Fuller		Gradasi memotong Fuller	
	Aspal Pen 60	Aspal Polimer	Aspal Pen 60	Aspal Polimer
Kadar Aspal, %	5,65	5,60	5,50	5,50
Kepadatan, t/m ³	2,382	2,392	2,353	2,377
Rongga terisi aspal (VFB), %	74,00	71,92	72,14	69,64
Rongga dalam campuran (VIM), %	4,17	4,38	4,60	4,85
Rongga dalam agregat (VMA), %	15,82	15,47	16,32	15,90
Rongga dalam campuran pada kepadatan membal (<i>refusal</i>), %	3,35	2,83	3,53	2,94
Stabilitas marshall, kg	1471,7	1652,5	1159,1	1489,6
Pelelehan, mm	3,21	4,67	3,42	3,79
Marshall quotient, kg/mm	482,2	358,0	342,3	395,7
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60 °C (%)	96,36	96,47	95,04	95,24

Tabel 6.22. Sifat AC-BC dengan bahan pengikat aspal Pen 60 dan Polimer

Uraian	Hasil Pengujian			
	Gradasi Di Atas Fuller		Gradasi Motong Fuller	
	Aspal Pen 60	Aspal Polimer	Aspal Pen 60	Aspal Polimer
Kadar Aspal, %	5,50	5,50	5,50	5,50
Kepadatan, t/m ³	2,377	2,370	2,351	2,373
Rongga terisi aspal (VFB), %	72,74	68,93	70,97	68,47
Rongga dalam campuran (VIM), %	4,39	5,03	5,14	4,91
Rongga dalam agregat (VMA), %	15,87	16,01	16,48	15,62
Rongga dalam campuran pada kepadatan membal (<i>refusal</i>), %	3,43	2,72	3,22	3,10
Stabilitas marshall, kg	1462,6	1484,1	1220,5	1468,0
Pelelehan, mm	3,81	4,27	3,71	4,33
Marshall quotient, kg/mm	401,5	351,8	338,9	358,6
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60 °C (%)	88,16	90,25	93,59	94,65

Tabel 6.23. Sifat AC-Base dengan bahan pengikat aspal Pen 60 dan Polimer

Uraian	Hasil Pengujian			
	Gradasi Di Atas Fuller		Gradasi Motong Fuller	
	Aspal Pen 60	Aspal Polimer	Aspal Pen 60	Aspal Polimer
Kadar Aspal, %	5,00	4,95	4,90	4,90
Kepadatan, t/m ³	2,413	2,405	2,406	2,410
Rongga terisi aspal (VFB), %	67,95	66,81	67,82	67,60
Rongga dalam campuran (VIM), %	4,48	4,66	4,50	4,49
Rongga dalam agregat (VMA), %	14,02	14,02	13,92	13,83
Rongga dalam campuran pada kepadatan membal (<i>refusal</i>), %	2,86	3,25	3,17	3,33

Uraian	Hasil Pengujian			
	Gradasi Di Atas Fuller		Gradasi Motong Fuller	
	Aspal Pen 60	Aspal Polimer	Aspal Pen 60	Aspal Polimer
Stabilitas marshall, kg	3081,6	3782,0	2745,0	3721,6
Pelelehan, mm	5,82	7,08	6,66	6,82
Marshall quotient, kg/mm	532,5	534,6	415,1	546,2
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60 °C (%)	82,56	87,53	85,48	93,42

Apabila memperhatikan nilai pelelehan (*flow*) maka nilai pelelehan yang dihasilkan terdapat yang melampaui batasan yang dianjurkan *Asphalt Institute* MS-2, yaitu untuk AC-WC dan AC-BC adalah dibatasi dengan rentang antara 2,0-3,5 mm. Untuk itu, dipandang perlu untuk dievaluasi agar campuran tidak rentan terhadap terjadinya deformasi plastis. Untuk AC-Base karena ukuran benda ujinya berdiameter lebih besar maka perlu dikaji lebih lanjut.

6.6 Pembahasan Hasil Kajian

Terdapat beberapa alasan diperlukannya tinjauan terhadap spesifikasi umum bidang jalan, terutama untuk spesifikasi campuran beraspal panas, yaitu di antaranya:

- Karakteristik agregat yang ditetapkan perlu disesuaikan dengan kondisi di Indonesia, termasuk gradasi agregat campuran terdapat yang kurang tepat.
- Persyaratan aspal perlu disesuaikan terhadap prosedur pengujian yang baku.
- Perlunya penyesuaian parameter campuran, seperti rongga dalam campuran (VIM), rongga terisi aspal (VFB), stabilitas Marshall dan pelelehan.

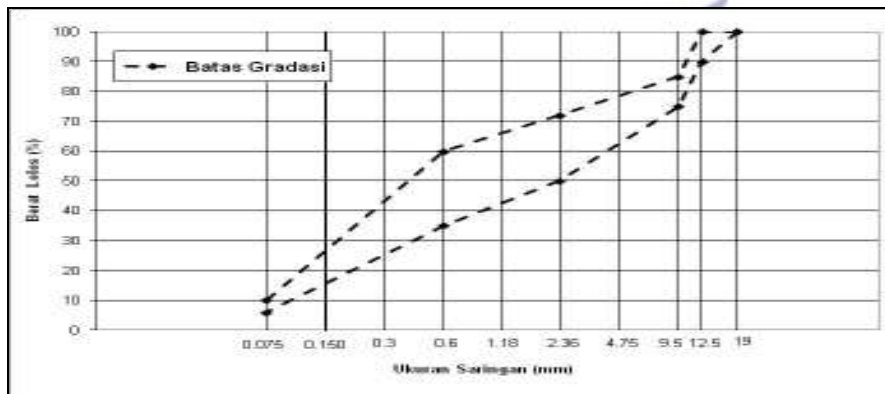
6.6.1 Karakteristik Agregat dan Gradasi Agregat Campuran

a. Karakteristik agregat

- Ketentuan kekekalan bentuk agregat untuk agregat kasar terhadap larutan natrium dan magnesium sulfat tidak diakomodasi karena parameter ini mewakili pada kondisi dingin yang ekstrim (musim salju), sedangkan Indonesia adalah wilayah tropis serta agregat kasar pada campuran beraspal terselimuti aspal.
- Ketentuan material lolos saringan No. 200 (0,075 mm) untuk agregat halus dihilangkan, karena sudah diwakili oleh kadar lempung.

b. Gradasi agregat campuran

Gradasi agregat campuran untuk campuran Lataston (HRS) terdapat kekurangan tepatan, terutama untuk memperoleh persyaratan senjang yang kemungkinan besar sulit dicapai seperti disajikan pada gambar di bawah ini.



Gambar 6.19. Gradasi HRS-WC

Sedangkan gradasi beton aspal, terutama untuk AC-WC sebaiknya disesuaikan dengan spesifikasi Superpave atau tidak dibatasi gradasi halus dan kasar dengan sifat agregatnya berbeda. Hal demikian, untuk

memberikan keleluasan terhadap pengguna dalam penerapannya serta disesuaikan dengan ketersediaan gradasi agregat di daerah setempat.

6.6.2 Karakteristik Aspal

Untuk karakteristik aspal sebaiknya nilai Indeks Penetrasi tidak ditetapkan dalam spesifikasi karena sudah diwakili dengan nilai penetrasi dan titik lembek. Di samping itu, nilai indeks penetrasi setelah penurunan berat akan menimbulkan perdebatan karena untuk jenis aspal keras uji penurunan beratnya dengan TFOT sedangkan aspal polimer dengan RTFOT, padahal dengan kedua uji tersebut menghasilkan nilai penurunan berat yang berbeda sehingga pengaruhnya besar terhadap nilai penetrasi dan titik lembek.

Ketentuan aspal keras Tipe Asbuton yang diproses sebaiknya parameter yang ditetapkan terhadap bitumennya atau tidak termasuk mineral asbutonnya.

6.6.3 Karakteristik Campuran

Seperti diuraikan di atas, maka ada beberapa ketentuan campuran yang dipandang perlu disesuaikan, yaitu di antaranya nilai stabilitas Marshall, pelelehan, rongga dalam campuran (VIM) dan rongga terisi aspal (VFB).

Kekakuan campuran sangat tergantung terhadap beberapa faktor, yaitu seperti disajikan pada persamaan atau model Witczak yang dicuplik oleh Gabriel Garcia, et al (2007), seperti disajikan pada persamaan berikut ini.

$$\log(E^*) = 3,750063 + 0,02932 \times p_{200} - 0,001767 \times (p_{200})^2 - 0,002841 \times p_4 - 0,058097 \times V_a - 0,802208 \times \left(\frac{V_{beff}}{V_{beff} + V_a} \right) + \frac{3,871977 + 0,0021 \times p_4 + 0,003958 \times p_{38} - 0,000017 \times (p_{38})^2 + 0,005470 \times p_{34}}{1 + e^{(-0,603313 - 0,313353 \times \log(f) - 0,393532 \times \log(\eta))}}$$

Keterangan:

- E^* = modulus dinamis, 10^5 psi
 η = kekentalan aspal pada umur dan temperatur yang ditetapkan (penggunaan viskositas RTFOT yang dianjurkan untuk pengondisian jangka pendek/short-term oven aged), 10^6 Poise
 f = frekuensi beban, Hz
 V_a = rongga udara dalam campuran, %
 V_{beff} = kadar aspal efektif, % volume
 ρ_{34} = agregat yang tertahan saringan no 19 mm, %
 ρ_{38} = agregat yang tertahan saringan no 9,5 mm, %
 ρ_4 = agregat yang tertahan saringan no 4,75 mm, %
 ρ_{200} = agregat lolos saringan no 0,075 mm, %

Berdasarkan persamaan di atas, maka untuk tipe campuran beton aspal lapis permukaan (AC-WC), lapis antara (AC-BC) dan lapis pondasi (AC-Base) karena memiliki ukuran butir maksimumnya berbeda atau terutama persentase agregat yang tertahan no 19 mm berbeda maka nilai kekakuannya pun berbeda. Seperti hasil kajian yang telah dilakukan maka stabilitas Marshall akan semakin tinggi apabila campuran memiliki ukuran nominal maksimum agregat lebih besar dan atau menggunakan aspal yang semakin kental. Begitu juga untuk campuran HRS-WC dan HRS-Base, yang mana memiliki gradasi yang berbeda juga. Untuk itu, ketentuan nilai stabilitas perlu disesuaikan.

Apabila pada *Asphalt Institute* MS-2, maka batasan nilai pelelehan (flow) yang direkomendasikan untuk AC-WC dan AC-BC adalah dibatasi dengan rentang antara 2,0-3,5 mm. Untuk itu, dipandang perlu untuk dievaluasi agar campuran tidak rentan terhadap terjadinya deformasi plastis. Khusus untuk AC-Base karena ukuran benda ujinya berdiameter lebih besar maka perlu dikaji lebih lanjut atau sesuai hasil kajian di laboratorium.

Rongga dalam campuran (VIM), berdasarkan aspal *Asphalt Institute* MS-2 adalah antara 3,0-5,0% dan superpave merekomendasikan ditetapkan 4%

dengan memilih atau mengubah gradasi apabila tidak terpenuhi. Berdasarkan rekomendasi di atas, maka untuk spesifikasi umum sebaiknya rongga dalam campuran (VIM) adalah antara 3,0-5,0%. Sedangkan untuk rongga terisi aspal (VFB) sebaiknya sesuai dengan superpave.

6.7 Karakteristik Bahan dan Campuran Beraspal Panas yang Diusulkan

Sesuai hasil kajian pustaka dan kajian yang dilakukan di laboratorium maka ketentuan agregat, aspal serta ketentuan campuran yang diusulkan untuk masukan pada spesifikasi umum bidang jalan yang berlaku dilingkungan Bina Marga adalah sebagai berikut:

- Ketentuan sifat agregat kasar dan agregat halus berturut-turut disajikan pada Tabel 6.24 dan 6.25.
- Gradasi agregat campuran untuk Latacir, Lataston dan Laston disajikan pada Tabel 6.26, 6.27 dan Tabel 6.28.
- Ketentuan aspal keras disajikan pada Tabel 6.29.
- Ketentuan sifat Latacir pada Tabel 6.30.
- Ketentuan sifat Lataston pada Tabel 6.31.
- Ketentuan sifat Laston pada Tabel 6.32.
- Ketentuan sifat Laston dimodifikasi pada Tabel 6.33.

Tabel 6.24. Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian	Standar	Nilai
Abrasi dengan mesin Los Angeles	SNI 2417:2008	Mak. 40 %
Kelekatan agregat terhadap aspal	SNI 03-2439-1991	Min. 95 %
Angularitas:		
Angularitas (kedalaman dari permukaan <10 cm)	ASTM D 5821-01	95/90 ^(*)
Angularitas (kedalaman dari permukaan ≥ 10 cm)		80/75 ^(*)
Partikel pipih dan lonjong (**)	RSNI T-01-2005	Mak. 10 %
Material lolos saringan No. 200	SNI 03-4142-1996	Mak. 1 %

Tabel 6.25. Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Standar	Nilai
Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Min 60%
Kadar Lempung	SNI 3423 : 2008	Maks 1%
Angularitas:	SNI 03-6877-2002	
Angularitas (kedalaman dari permukaan <10 cm)		Min 45%
Angularitas (kedalaman dari permukaan ≥ 10 cm)		Min 40%

Tabel 6.26. Gradasi agregat campuran

Ukuran Ayakan (mm)		% Berat Yang Lolos terhadap Total Agregat dalam Campuran								
		Latasir (SS)		Lastaston (HRS)				Laston (AC)		
				Gradasi Senjang		Gradasi Semi Senjang				
ASTM	(mm)	Kelas A	Kelas B	WC	BC	WC	BC	WC	BC	Base
1½"	37,5									100
1"	25								100	90 - 100
¾"	19	100	100	100	100	100	100	100	90 - 100	73 - 90
½"	12,5	-	-	90-100	90 - 100	87 - 100	90 - 100	90 - 100	71 - 90	55 - 78
3/8"	9,5	90-100	-	75 - 85	65 - 100	75 - 90	65 - 100	75 - 90	58 - 82	45 - 71
No.4	4,75							47 - 69	37 - 64	28 - 57
No.8	2,36	-	75-100	50 - 72 ¹	35 - 55 ¹	50 - 72	35 - 60	28 - 53	23 - 49	19 - 45
No.16	1,18							19 - 40	15 - 38	12 - 35
No.30	0,60	-	-					13 - 30	10 - 28	7 - 25
No.50	0,30			35 - 60	15 - 35	30 - 50	15 - 35	8 - 21	7 - 20	4 - 17
No.100	0,150							5 - 14	5 - 13	2 - 11
No.200	0,075	10 - 15	8 - 13	6 - 12	2 - 9	6 - 12	2 - 9	2 - 10	2 - 8	1 - 7

Tabel 6.27. Kriteria HRS Bergradasi Senjang

Ukuran saringan	Persen lolos			
	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3	Alternatif 4
No. 8 (2,36 mm)	40	50	60	70
No. 30 (0,60 mm)	Min. 32	Min. 40	Min. 48	Min. 56
% kesenjangan	8 atau kurang	10 atau kurang	12 atau kurang	14 atau kurang

Tabel 6.28. Klasifikasi Gradasi AC

Titik Kontrol PCS (Primary Control Sieve) untuk Ukuran Nominal Maksimum Agregat (persen lolos)			
Ukuran Nominal Maksimum Agregat; mm	12,5 (AC-WC)	19,0 (AC-BC)	25,0 (AC-Base)
Primary Control Sieve (PCS); mm	2,36	4,75	4,75
Titik kontrol PCS (persen lolos)	39	47	40

Apabila gradasi campuran berada di bawah Titik Kontrol PCS, maka Rasio Filler Semen naik dari 0,6-1,2 menjadi 0,8-1,6

Tabel 6.29. Ketentuan-ketentuan untuk Aspal Keras

No	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Tipe I Aspal Pen. 60-70	Tipe II Aspal yang Dimodifikasi		
				A ⁽¹⁾	B	C
				Asbuton yang diproses	Elastomer Alam (Latex)	Elastomer Sintetis
1.	Penetrasi pada 25°C (dmm)	SNI 06-2456-1991	60-70	45-60	50-70	Min.40
2.	Titik Lembek (°C)	SNI 06-2434-1991	≥ 48	≥ 53	≥ 53	≥ 54
3.	Duktilitas pada 25°C, (cm)	SNI-06-2432-1991	≥ 100	≥ 100	≥ 100	≥ 100
4.	Titik Nyala (°C)	SNI-06-2433-1991	≥ 232	≥ 232	≥ 232	≥ 232
5.	Kelarutan dalam Trichlor Etylen; % berat	RSNI M-04-2004	≥ 99	≥ 90	≥ 99	≥ 99
7.	Berat Jenis	SNI-06-2441-1991	≥ 1,0	≥ 1,0	≥ 1,0	≥ 1,0
8.	Stabilitas Penyimpanan (°C)	ASTM D 5976 part 6.1	-	≤ 2,2	≤ 2,2	≤ 2,2
Pengujian Residu hasil TFOT atau RTFOT :						
9.	Berat yang Hilang (%)	SNI 06-2441-1991	≤ 0.8 ²⁾	≤ 0.8 ²⁾	≤ 0.8 ³⁾	≤ 0.8 ³⁾
10.	Penetrasi pada 25°C (%)	SNI 06-2456-1991	≥ 54	≥ 54	≥ 54	≥ 54
11.	Keelastisan setelah Pengembalian (%)	RSNI M-05-2005	-	-	> 45	> 60
12.	Duktilitas pada 25°C (cm)	SNI 062432-1991	> 100	> 50	> 50	-

Catatan :

- 1) Hasil pengujian adalah untuk bahan pengikat yang diekstraksi dengan menggunakan metoda SNI 2490:2008. Kecuali untuk pengujian kelarutan dan gradasi mineral dilaksanakan pada seluruh bahan pengikat termasuk kadar mineral.
- 2) Untuk pengujian residu aspal Tipe I, Tipe II – A dan Tipe II – B residunya didapat dari pengujian TFOT sesuai dengan SNI 06-2440-1991.
- 3) Untuk pengujian residu aspal Tipe II-C residunya didapat dari pengujian RTFOT sesuai dengan SNI 03-6835-2002.

Tabel 6.30. Ketentuan sifat campuran Latasir

Sifat-sifat campuran		Latasir
		Kelas A & Kelas B
Jumlah tumbukan per bidang		50
Rongga dalam campuran (VIM), %	Min	3,0
	Mak	6,0
Rongga dalam agregat (VMA), %	Min	20
Rongga terisi aspal (VFB), %	Min	75
Stabilitas marshall, kg	Min	200
Pelelehan, mm	Min	2
	Mak	5
Marshall quotient, kg/mm	Min	80

Sifat-sifat campuran	Latasir	
	Kelas A & Kelas B	
Tensile Strength Ratio (TSR) sesuai AASTHO T 283-89 pada VIM $7 \pm 0,5\%$, (%)	Min	80

Tabel 6.31. Ketentuan sifat campuran Lataston

Sifat-sifat campuran		Lataston Senjang dan Semi Senjang	
		WC	Base
Jumlah tumbukan per bidang		75	
Rongga dalam campuran (VIM), %	Min.	3,0	
	Maks.	6,0	
Rongga dalam agregat (VMA), %	Min.	18	17
Rongga terisi aspal (VFB), %	Min.	68	
Stabilitas marshall, kg	Min.	800	900
Pelelehan, mm	Min.	2	
	Maks.	4	
Marshall quotient, kg/mm	Min.	250 200	
Rongga dalam campuran pada kepadatan membal (<i>refusal</i>), %	Min.	2	
Tensile Strength Ratio (TSR) sesuai AASTHO T 283-89 pada VIM $7 \pm 0,5\%$, (%)	Min	80	

Tabel 6.32. Ketentuan sifat campuran Laston

Sifat-sifat campuran		Laston		
		WC	BC	Base
Jumlah tumbukan per bidang		75		112 ⁽¹⁾
Rasio Filler-Aspal		0,6 - 1,2 Gradasi di atas TK PCS		
		0,8 - 1,6 Gradasi di bawah TK PCS		
Rongga dalam campuran (VIM), % ⁽³⁾	Min.	3,0		
	Maks.	5,0		
Rongga dalam agregat (VMA), %	Min.	14	13	12
Rongga terisi aspal (VFB), %	Min.	65	65	65
Stabilitas marshall, kg	Min.	900	1100	1800 ⁽¹⁾
	Maks.	-	-	-
Pelelehan, mm	Min.	2		2 ⁽¹⁾
	Maks.	4		4,5 ⁽¹⁾
Marshall quotient, kg/mm	Min.	200		300
Rongga dalam campuran pada kepadatan membal (<i>refusal</i>), %	Min.	2		
Tensile Strength Ratio (TSR) sesuai AASTHO T 283-89 pada VIM $7 \pm 0,5\%$, (%)	Min	80		

Tabel 6.33. Ketentuan sifat campuran Laston Dimodifikasi (AC Mod)

Sifat-sifat campuran		Laston		
		WC Mod	BC Mod	Base Mod
Jumlah tumbukan per bidang		75		112 ⁽¹⁾
Rasio Filler-Aspal		0,6 - 1,2 Gradasi di atas TK PCS 0,8 - 1,6 Gradasi di bawah TK PCS		
Rongga dalam campuran (VIM), % ⁽³⁾	Min.		3,0	
	Maks.		5,0	
Rongga dalam agregat (VMA), %	Min.	14	13	12
Rongga terisi aspal (VFB), %	Min.	65	65	65
Stabilitas marshall, kg	Min.	1000	1200	2250 ⁽¹⁾
Pelelehan, mm	Min.	2		2 ⁽¹⁾
	Maks.	4		4,5 ⁽¹⁾
Marshall quotient, kg/mm	Min.	250		350
Rongga dalam campuran pada ⁽²⁾ Kepadatan membal (<i>refusal</i>), %	Min.		2	
Tensile Strength Ratio (TSR) sesuai AASTHO T 283-89 pada VIM 7±0,5%, (%)	Min		80	
Stabilitas Dinamis, Lintasan / mm ⁽⁵⁾	Min.		2500	

Catatan:

- 1) Modifikasi Marshall sesuai RSNI M-06-2004
- 2) Rongga dalam campuran dihitung berdasarkan pengujian Berat Jenis Maksimum Agregat (Gmm test, SNI 03-6893-2002).
- 3) Pengujian Tensile Strength Ratio (TSR) pada VIM 7±0,5% adalah sesuai AASTHO T 283-89
- 4) Untuk menentukan kepadatan membal (*refusal*), disarankan menggunakan penumbuk bergetar (vibratory hammer) agar pecahnya butiran agregat dalam campuran dapat dihindari. Jika digunakan penumbukan manual jumlah tumbukan per bidang harus 600 untuk cetakan berdiameter 6 inch dan 400 untuk cetakan berdiameter 4 inch.
- 5) Pengujian *Wheel Tracking Machine* (WTM) harus dilakukan pada temperatur 60°C. Prosedur pengujian harus mengikuti serti pada Manual untuk Rancangan dan Pelaksanaan Perkerasan Aspal, *JRA Japan Road Association* (1980)

7

KESIMPULAN DAN SARAN

7.1 Kesimpulan

- a. Propertis bahan agregat dan aspal merupakan hal utama yang mempengaruhi sifat campuran beraspal panas. Keandalan dari suatu kualitas bahan dapat diketahui dengan mengadakan pengujian menggunakan metode atau pedoman yang dibakukan sehingga dikenali secara umum.
- b. Penambahan anti *stripping* dengan beberapa jenis bahan yang saat ini beredar di pasaran, sebesar 0,3%-0,7% pada aspal pen 60 memberikan perubahan sifat aspal relatif kecil dan masih dalam kriteria aspal pen 60.
- c. Penggunaan anti *stripping* dapat menaikkan pelekatan antara aspal dan agregat serta besarnya nilai ITSr (*Indirect Tensile Strain Retained*) dan MSR (*Marshall Stability Retained*) yang digunakan sebagai besaran untuk menguji sensitivitas terhadap air. Dari beberapa jenis antistripping yang digunakan untuk percobaan kenaikan nilai ITSr dan MSR bervariasi berturut-turut adalah 2 – 12% dan 2-15% dari sebelum ditambah anti *stripping*, tergantung bahan dan campuran yang digunakan. Nilai kelekatan aspal terhadap agregat >95% tidak

memberikan jaminan bahwa nilai MSR mencapai minimum 90% (Spesifikasi umum, 2010) atau ITSr minimum 0,80 (AASHTO R 35-04).

- d. Hasil litbang pada beberapa pengujian aspal menunjukkan bahwa untuk beberapa jenis aspal murni dengan nilai $pen > 60$ dan titik lembek sekitar 50°C - 51°C , batas temperatur deformasi ($G^*/\sin\delta$) adalah 64°C ; sedangkan untuk benda uji aspal dengan nilai $pen < 60^{\circ}\text{C}$ dan titik lembek sekitar 55°C , batas temperatur deformasi adalah 70°C yang berarti mempunyai daya tahan terhadap deformasi pada temperatur yang lebih tinggi.
- e. Pada naskah ini disajikan tentang kajian spesifikasi campuran beraspal panas yang didasarkan pada spesifikasi umum Bina Marga tahun 2010 dan usulan penyempurnaannya. Usulan spesifikasi campuran aspal panas (LASTON) antara lain adalah sebagai berikut:
 - Penggunaan anti *stripping* tidak sebagai keharusan, anti *stripping* diperlukan jika dibutuhkan peningkatan nilai ITSr. ITSr diuji sesuai dengan metode AASHTO T283-2007 tanpa pengkondisian -18°C . Untuk saat ini, benda uji dibuat dengan silinder Marshall dan membuat variasi tumbukan (misal 2x 35, 2x 50 dan 2x75 tumbukan, pada satu kadar aspal optimum yang sama) untuk mendapatkan VIM $7\% \pm 0,5\%$. Pengujian dengan alat penguji ITS (*Indirect Tensile Strength*).
 - Perlu ditambahkan parameter *Dust Proportion* yang merupakan perbandingan antara bahan lolos ayakan No. 200 dengan kadar aspal efektif.Spesifikasi selengkapnya disajikan pada konsep R0 campuran beraspal panas.
- f. Metode rancangan kadar aspal campuran beton aspal Superpave (*Superior Performing Asphalt Pavements*) dengan *giratory compactor* merupakan rancangan yang mengintegrasikan penyeleksian bahan dan rancangan campuran kedalam suatu tahapan berdasarkan kondisi iklim suatu daerah dan lalu-lintas rencana.

7.2 Saran

- a. Uji *Repeatability* dan *Reproducibility* (DSR dan *Gyratory compactor*) yang melibatkan beberapa alat pengujian, bahan serta sumber daya manusia perlu dilakukan untuk menguji ketelitian dan ketepatan pengujian.
- b. Diperlukan kalibrasi pemadat giratori yang tersedia untuk mendapatkan N_{ini} , N_{des} dan N_{max} yang sesuai dengan kriteria lalu-lintas pada standar AASHTO T 312-08.





DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO (1993). *Guide for design of pavement structures*. Published by the American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington DC.
- AASHTO Designation : T 312-08. *Standard Method of Test for Preparing and Determining the Density of Hot Mix Asphalt (HMA) Specimens by Means of the Superpave Gyratory Compactor*. Washington, DC
- AASHTO Designation : M 320-05. *Standard Specification for Performance-Graded asphalt Binder*. Washington, DC
- AASHTO Designation : M 323-07. *Superpave Volumetric Mix design*.
- AASHTO Designation : R 30-02 (2006). *Standard practice Mixture conditioning of Hot Mix Asphalt (HMA)*. Washington, DC
- AASHTO Designation : R 35-04 . *Standard practice for Volumetric Mix design for Hot Mix Asphalt (HMA)*. Washington DC
- AASHTO Designation : R 35-04, 2008. *Standard Practice for Superpave Volumetric Design for Hot Mix Asphalt (HMA)*, Washington, DC.
- AASHTO Designation : T 283-07. *Standard Method of Test for Resistance of Compacted Hot Mix asphalt (HMA) to Moisture-Induced Damage*. Washington, DC
- AASHTO Designation M 323-2007. *Superpave Volumetric Mix Design*, Washington, DC.
- Bina Marga, 2010. *Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan*. Direktorat Bina Teknik, Jakarta.
- Bina Marga, Departemen Pekerjaan Umum (2010). *Seksi 6.3. Campuran Beraspal Panas*.
- David R.Jones (1997). *Introduction to Superpave and SHRP*. Eastman Chemical Company and PT Pintu Mas Mulia Kimia. Bandung, March 4, 1997.
- Donald WC and Ramon FB, Transport Research Board (2006), *Volumetric Requirements for Superpave Mix Design*. NCHRP report 567. Washinton DC
- Gabriel Gracia and Marshall T (2007). *HMA Dynamic modulus Predictive Models-A Review*, Research Report FHWA-ICT-07-005, A report of the findings of ICT_R39 Validation of Extended Life HMA Design Concepts. Illinois Center for Transportation, Urbana.
- Japan Road Association (1980). *Manual for Design and Construction of Asphalt Pavement*, Japan Road Association, Tokyo-Japan.

- Krebs and Walker (1971). *Highway Materials*. Published by McGraw-Hill Book Company. New York.
- Paul H.Wright/Karen K.Dixon (unknown). *Highway Engineering*. 7th edition. John Wiley and Sons, Inc.
- Rajib B. Mallick and Tahar El-Korchi (2009). *Pavement Engineering, Principles and Practice*. CRC Press. Taylor and Francis Group. 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300. Boca Raton, FL 33487-2742.
- Shell Bitumen (1991). *The Shell Bitumen Handbook*. Publish by Shell Bitumen. Surrey KT 16 9AU.
- Strategic Highway Research Program (1994). *Superior Performing Asphalt Pavements (Superpave): The Product of the SHRP Asphalt Research Program, SHRP-A-410*. National Research Council, Washington DC.
- Strategic Highway Research Program (1994). *Level One Mix Design : Bahan selection, compaction and conditioning*. SHRP-A-408. National Research Council. Washington, DC.
- The Asphalt Institute Superpave Series No. 2 (SP-2) (1996). *Superpave Mix Design, 1996*. Asphalt Institute, Lexington, Kentucky..
- The Asphalt Institute Superpave Series No. 2 (SP-2) (2003). *Performance Graded Asphalt Binder Specification and Testing*. Asphalt Institute, Lexington, Kentucky.
- The Asphalt Institute's (1997). *Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Others Hot Mix Types*, Manual Series No. 2 (MS-2). Sixth Edition. The Asphalt Institute. Washington DC.
- The Asphalt Institute's (2007). *The Asphalt Handbook, Manual Series No. 4 (MS-4) 7th Editon*. The Asphalt Institute. Washington DC.
- Washington State Department of Transportation (WSDOT), January 2005. *Hot Mix Asphalt Production and Testing, Construction Inspector's Training Manual*. Washington, DC.
- World Road Association (2000). *Flexible Pavements Evolution of Specifications and Quality Systems to Deliver Performance*. PIARC Technical Committee on Flexible Roads (C8).
- Yoder and Witczak (1975). *Principles of pavement design*. A Wiley-Interscience Publication. New York.
- Zamhari KA, Sterling AB, Toole T (1997). *Penyempurnaan spesifikasi campuran aspal panas*. Road Research Development Project. Published Paper PA 9. KTRJ 5, 21-24 September 1997, Yogyakarta, Indonesia.