

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 UMUM

Pemadatan adalah proses pemampatan yang memberikan volume terkecil, menggelincir rongga hingga batas yang disyaratkan dan menambah kepadatan optimal. Mengingat efek yang ditimbulkan oleh pengaruh udara, air serta pembebanan oleh arus lalu lintas apabila rongga dalam campuran tidak memenuhi syarat yang ditentukan hal ini harus dihindari agar tidak terjadi penyimpangan. Pemadatan pada hakekatnya adalah untuk memperluas bidang sentuh antar butiran sehingga mempertinggi gesekan antar butiran agregat dalam campuran.

Proses pemadatan di laboratorium biasanya menggunakan alat penumbuk Marshall dengan menggunakan daya pemadatan tertentu yang dianggap mirip dengan daya pemadatan oleh mesin pemadat yang umum digunakan dilapangan. Diketahui bahwa makin besar daya pemadatan, makin besar pula kepadatan yang diperoleh. Perencanaan *Marshall* tersebut menetapkan untuk kondisi lalu lintas berat pemadatan benda uji sebanyak 2 x 75 tumbukan. Pada pelaksanaan dilapangan, tenaga pemadat diukur dalam jumlah lintasan alat pemadat dan berat alat pemadat itu sendiri.

Pada pelaksanaan pemadatan dilapangan sangat rawan akan terjadinya penyimpangan jumlah lintasan sehingga diakali dengan menaikkan temperature pada saat pemadatan. Temperatur merupakan faktor yang penting pada saat pemadatan, kepadatan hanya bisa terjadi pada saat aspal dalam keadaan cukup cair sehingga aspal tersebut dapat berfungsi sebagai pelumas. Jika aspal sudah dalam keadaan cukup dingin maka kepadatan akan sulit dicapai. Menaikan temperature pemadatan berakibat partikel agregat dalam campuran beraspal panas dapat dipadatkan lebih baik lagi.

2.2 Defenisi dan Bagian-bagian perkerasan jalan.

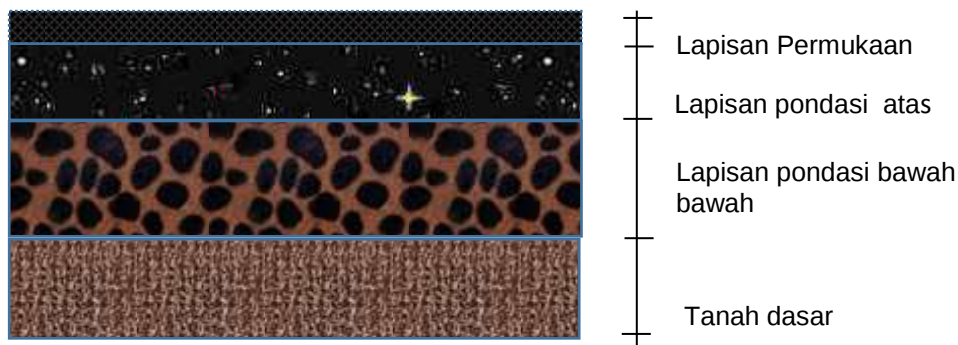
Aspal beton dapat didefenisikan sabagai agregat bergradasi tertentu yang dicampur satu sama lain, membentuk massa padat oleh bahan pengikat aspal. Laston adalah campuran antara aspal keras dan agregat bergradasi menerus, dihampar dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu yang umumnya digunakan untuk jalan dengan beban lalu lintas berat. Yang dimaksud dengan agregat bergradasi menerus adalah suatu komposisi

yang menunjukkan pembagian butiran merata, mulai dari ukuran yang terbesar sampai yang terkecil.

Bagian-bagian perkerasan jalan adalah lapis-lapis material yang dipilih dan dikerjakan menurut spesifikasi tertentu sesuai dengan macamnya dan berfungsi menyebarkan beban roda kendaraan sedemikian rupa, sehingga dapat ditahan oleh tanah dasar, dalam batas daya dukungnya (Sukirman, 1992).

Umumnya bagian perkerasan jalan terdiri dari :

1. Tanah dasar (*sub grade*)
2. Lapis pondasi bawah (*sub base course*)
3. Lapis pondasi atas (*base course*)
4. Lapis permukaan (*surface course*)



Gambar 2.1. Bagian-bagian perkerasan jalan

Sumber : Sukirman, 1992

2.2.1 Tanah dasar.

Tanah dasar adalah permukaan tanah asli, permukaan galian atau permukaan tanah timbunan yang merupakan permukaan dasar untuk perletakan bagian-bagian perkerasan lainnya. Kekuatan dan keawetan dari konstruksi perkerasan jalan sangat tergantung dari sifat-sifat dan daya dukung tanah dasar.

Masalah-masalah yang sering ditemui menyangkut tanah dasar adalah sebagai berikut :

1. Perubahan bentuk tetap (deformasi permanen) dari jenis tanah tertentu akibat beban lalu lintas.

2. Sifat mengembang dari macam tanah tertentu akibat perubahan kadar air.
3. Daya dukung tanah yang tidak merata pada daerah dengan macam tanah yang sangat berbeda.
4. Lendutan (defleksi) dan pengembangan kenyal yang besar selama dan sesudah pembebanan lalu lintas dan penurunan yang diakibatkannya yaitu pada tanah berbutir kasar (*granular soils*) yang tidak dipadatkan secara baik pada saat pelaksanaan.

2.2.2 Lapis pondasi bawah.

Lapis pondasi bawah adalah bagian perkerasan yang terletak antara lapis pondasi atas dan tanah dasar. Fungsi dari lapisan ini adalah :

1. Sebagai bagian dari konstruksi perkerasan untuk menyebarkan beban roda ke tanah dasar.
2. Mencapai efisiensi penggunaan material yang relatif murah agar lapisan-lapisan selebihnya dapat dikurangi tebalnya (penghematan biaya konstruksi).
3. Untuk mencegah partikel-partikel halus dari tanah dasar naik ke lapisan pondasi atas.
4. Sebagai lapisan pertama agar pelaksanaan dapat berjalan lancar. Hal ini sehubungan dengan terlalu lemahnya daya dukung tanah dasar terhadap roda-roda alat berat atau karena kondisi lapangan yang memaksa harus segera menutup tanah dasar dari pengaruh cuaca.
5. Sebagai lapisan peresapan (*drainage blanket sheet*) agar air tanah tidak mengumpul di pondasi maupun tanah dasar.

2.2.3 Lapis pondasi atas.

Lapis pondasi atas adalah bagian lapis perkerasan yang terletak antara lapis permukaan dan lapis pondasi bawah atau bila tidak menggunakan lapis pondasi bawah dengan tanah dasar.

Fungsi dari lapis pondasi atas antara lain :

1. Sebagai bahan perkerasan yang menahan gaya lintang dari beban roda dan menyebarkan beban ke lapisan dibawahnya.
2. Sebagai lapis peresapan untuk lapis pondasi bawah.
3. Memberikan bantalan terhadap lapisan permukaan.

Bahan-bahan untuk lapisan umumnya dibutuhkan kekuatan dan keawetannya sedemikian sehingga dapat menahan gaya-gaya lintang dari beban-beban roda. Sebelum menentukan suatu bahan untuk digunakan sebagai bahan pondasi hendaknya cukup dilakukan penyelidikan dan pertimbangan sebaik-baiknya sehubungan dengan tuntutan teknis.

2.2.4 Lapis permukaan

Lapis permukaan adalah bagian perkerasan yang paling atas. Lapis permukaan berfungsi sebagai berikut :

1. Sebagai lapisan perkerasan penahan beban roda, yang mempunyai stabilitas tinggi untuk menahan roda selama masa pelayaran.
2. Sebagai lapisan kedap air dimana air hujan yang jatuh diatasnya tidak meresap ke lapisan bawahnya dan melemahkan lapisan-lapisan tersebut.
3. Sebagai lapisan aus (*Wearing course*). Yaitu lapisan yang langsung menerima gesekan akibat roda kendaraan.
4. Lapis yang menyebarkan beban ke lapisan dibawahnya sehingga dapat dipikul oleh lapisan lain dengan daya dukung yang lebih jelek.

Bahan-bahan untuk lapis permukaan umumnya adalah sama dengan bahan-bahan untuk lapis pondasi, hanya susunan butir-butirnya (gradasi) disyaratkan lebih berat serta penambahan bahan aspal agar lapisan dapat bersifat kedap air, di samping itu bahan aspal sendiri memberikan bantuan tegangan tarik, yang berarti mempertinggi daya dukung lapisan terhadap beban roda lalu lintas. Pemilihan untuk lapisan permukaan akan juga mempertimbangkan kegunaan, umur rencana, serta penahapan konstruksi, agar dicapai manfaat yang sebesar-besarnya dari biaya yang dikeluarkan.

2.3 Bahan-bahan campuran

2.3.1 Agregat Kasar

Agregat kasar adalah agregat yang lebih besar dari 4,75 mm menurut ASTM atau lebih dari 2 mm menurut AASTHO, (Sukirman, 1992) atau agregat yang tertahan pada ayakan No. 4 (4,75 mm) yang dilakukan secara basah dan harus bersih, keras awet dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya (Spesifikasi Umum Bina Marga Divisi 6. 2010 Revisi 3).

Fungsi agregat kasar adalah untuk memberikan kekuatan campuran. Bentuk agregat kasar serta permukaan yang diinginkan adalah yang kasar dan tidak bulat agar dapat memberikan pengunci yang baik dengan material yang lain.

Ketentuan yang harus dipenuhi oleh agregat kasar menurut spesifikasi Bina Marga dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1. Ketentuan Agregat Kasar.

Pengujian			Standar	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan		Natrium Sulfat	SNI 3407 : 2008	Maks. 12 %
		Magnesium Sulfat		Maks. 18 %
Abrasi dengan mesin Los Angeles	Campuran AC Modifikasi	100 putaran	SNI 2417 : 2008	Maks. 6 %
		500 putaran		Maks. 30 %
	Semua jenis campuran aspal bergradasi lainnya	100 putaran		Maks. 8%
		500 putaran		Maks.40 %
Kelekatan agregat terhadap aspal			SNI 2439:2011	Min. 95 %
Butiran Pecah pada Agregat Kasar			SNI 7619:2012	95/90
Partikel pipih dan lonjong			ASTM D4791 Perbandingan 1 : 5	Maks. 10 %
Material lolos ayakan No. 200			SNI 03-4142-1996	Maks. 2 %

Sumber : Buku Spesifikasi umum Bina Marga Divisi 6, Tahun 2010 Revisi 3.

2.3.2 Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat yang lebih kecil dari 4,75 mm menurut ASTM atau lebih kecil dari 2 mm dan lebih besar dari 0.075 mm menurut AASTHO, (Sukirman, 1992) atau Agregat halus adalah agregat yang terdiri dari pasir atau pengayakan batu pecah dan yang lolos saringan no. #4 atau 4,75 mm (Spesifikasi Umum Bina Marga Divisi 6. 2010 Revisi 3).

Agregat halus harus merupakan bahan yang bersih, keras, bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya. Agregat halus pula harus diperoleh dari batu yang memenuhi ketentuan mutu agregat kasar di atas. Dalam segala hal, pasir yang kotor dan berdebu serta mempunyai partikel yang lolos ayakan No. 200 (0.075 mm) lebih dari 8 % atau pasir yang mempunyai nilai setara pasir (*Sand equivalent*) kurang dari 50 %, tidak diperkenankan untuk digunakan dalam campuran. Pasir hanya boleh digunakan dalam campuran beraspal maksimum sebesar 15 % (Spesifikasi Umum Bina Marga Divisi 6. 2010 Revisi 3).

Adapun ketentuan agregat halus menurut spesifikasi Bina Marga dapat dilihat pada tabel 2.2 yaitu :

Tabel 2.2. Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Standar	Nilai
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-1997	Min 60 %
Angularitas dengan Uji Kadar Rongga	SNI 03-6877-2002	Min. 45
Gumpalan Lempung dan Butir-butir Mudah Pecah dalam Agregat	SNI 03-4141-1996	Maks. 1%
Agregat Lolos Ayakan No.200	SNI ASTM C117:2012	Maks. 10 %

Sumber : Buku Spesifikasi umum Bina Marga Divisi 6, Tahun 2010 Revisi 3.

2.3.3 Bahan Pengisi (*Filler*)

Menurut Spesifikasi Umum Bina Marga Divisi 6, Tahun 2010 Revisi 3, bahan pengisi (*Filler*) harus memenuhi persyaratan :

- a. Bahan pengisi yang ditambahkan (*filler added*) terdiri atas debu batu kapur (*Limestone Dust, Calcium Carbonate, CaCO₃*), atau debu kapur padam yang sesuai dengan AASHTO M303-89 (2006), semen atau mineral yang berasal dari Asbuton yang sumbernya disetujui oleh Direksi Pekerjaan.
- b. Bahan pengisi yang ditambahkan harus kering dan bebas dari gumpalan – gumpalan dan bila diuji dengan pengayakan sesuai SNI ASTM C136:2012 harus mengandung bahan yang lolos ayakan No. 200 (75 micron) tidak kurang dari 75 % terhadap beratnya kecuali untuk mineral Asbuton. Mineral Asbuton harus mengandung bahan yang lolos ayakan No.100 (150 Micron) tidak kurang dari 95 % terhadap beratnya.
- c. Bilamana kapur tidak terhidrasi atau terhidrasi sebagian, tidak digunakan sebagai bahan pengisi. Kapur yang seluruhnya terhidrasi yang dihasilkan dari pabrik yang disetujui.
- d. Semua campuran beraspal harus mengandung bahan pengisi yang ditambahkan min. 1 % dari berat total agregat

2.3.4 Gradasi Agregat gabungan

Gradasi agregat adalah susunan dari beberapa ukuran butiran agregat yang membentuk suatu campuran agregat yang terdiri dari beberapa fraksi agregat. Gradasi agregat mempengaruhi besarnya rongga antar butir yang menentukan karakteristik dalam proses pelaksanaan di laboratorium maupun di lapangan (*AMP*).

Gradasi agregat gabungan untuk campuran AC-WC adalah gradasi gabungan antara beberapa agregat dengan prosentase tertentu untuk mendapatkan agregat dengan gradasi yang sesuai dengan spesifikasi, yang mempunyai gradasi menerus ditunjukkan dalam persen berat agregat, harus memenuhi batas-batas dan harus berada di dalam daerah batas spesifikasi.

Gradasi atau distribusi partikel-partikel berdasarkan ukuran agregat merupakan hal yang penting dalam menentukan karakteristik perkerasan. Gradasi agregat pada Laston

adalah jenis gradasi baik, yaitu campuran agregat dengan ukuran butiran yang terdistribusi merata dalam rentang ukuran butiran. Agregat bergradasi baik disebut juga dengan agregat bergradasi rapat.

Agregat bergradasi baik dapat dikelompokkan menjadi :

1. Agregat bergradasi kasar, adalah agregat bergradasi baik yang didominasi oleh agregat ukuran butiran kasar.
2. Agregat bergradasi halus, adalah agregat bergradasi baik yang didominasi oleh agregat ukuran butiran halus.

Penentuan distribusi ukuran agregat akan mempengaruhi kekakuan jenis campuran aspal. Gradasi rapat akan menghasilkan campuran dengan kekakuan yang lebih besar dibandingkan gradasi terbuka. Dari segi kelelahan, kekakuan adalah suatu hal yang sangat penting karena akan mempengaruhi tegangan dan regangan yang diderita campuran beraspal panas akibat beban dinamik lalu lintas.

Spesifikasi baru beton aspal menetapkan gradasi dengan spesifikasi khusus yaitu target gradasi berada dalam batas kontrol seperti pada Tabel 2.3. Garis kontrol berfungsi sebagai batas rentang dimana suatu target gradasi harus berada di dalam garis tersebut yaitu diukur maksimum (19 mm) dan ukuran saringan terkecil (0,075 mm).

Tabel 2.3. Gradasi Agregat gabungan untuk Campuran Aspal

Ukuran Ayakan (mm)	% Berat Yang Lolos terhadap Total Agregat dalam Campuran		
	Laston (AC)		
	WC	BC	Base
37,5			100
25		100	90 - 100
19	100	90 – 100	76 - 90

Ukuran Ayakan (mm)	% Berat Yang Lolos terhadap Total Agregat dalam Campuran		
	Laston (AC)		
	WC	BC	Base
12,5	90 – 100	75 – 90	60 – 78
9,5	77 - 90	66 – 82	52 – 71
4,75	53 - 69	46 – 64	35 - 54
2,36	33 – 53	30 – 49	23 – 41
1,18	21 – 40	18 – 38	13 - 30
0,600	14 – 30	12 - 28	10 - 22
0,300	9 – 22	7 - 20	6 - 15
0,150	6 – 15	5 – 13	4 - 10
0,075	4 – 9	4 – 8	3 - 7

Sumber : Buku Spesifikasi umum Bina Marga Divisi 6, Tahun 2010 Revisi 3.

2.3.5 Aspal

Aspal adalah material perekat yang pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat bersifat termoplastis, artinya aspal akan mencair jika dipanaskan sampai temperatur tertentu dan kembali membeku jika temperaturnya turun. Bersama dengan agregat, aspal merupakan material pembentuk campuran perkerasan jalan. Bahan pengikat yang dipergunakan adalah aspal keras dengan penetrasi 60/70 produksi Pertamina.

Kandungan aspal yang berlebihan pada campuran laston akan mengakibatkan campuran akan menjadi sangat lembek sehingga pada saat pemadatan sulit untuk mendapatkan lapisan yang stabil. Namun penggunaan aspal yang kurang akan

mengakibatkan campuran menjadi kaku dan retak-retak pada saat pemadatan. Persyaratan Aspal Keras Penetrasi 60 dapat dilihat pada tabel 2.4.

Pada pengujian-pengujian laboratorium, terutama untuk pengujian yang menggunakan metode Marshall penentuan kadar aspal dilakukan sebanyak dua kali. Penentuan pertama adalah menentukan kadar aspal rencana atau tengah dengan menggunakan rumus yang bertujuan untuk membuat rancangan campuran sedangkan penentuan kedua adalah menentukan kadar aspal optimum. Kadar aspal optimum hanya dapat ditentukan lewat pengujian laboratorium terhadap parameter Marshall.

Tabel 2.4. Ketentuan-ketentuan untuk Aspal Keras

No.	Jenis Pengujian	Metoda Pengujian	Tipe I Aspal Pen. 60-70
1.	Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI 06-2456-1991	60-70
2.	Viskositas Dinamis 60°C (Pa.s)	SNI 06-6441-2000	160-240
3.	Viskositas Kinematis 135°C (cSt)	SNI 06-6441-2000	≥300
4.	Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥48
5.	Daktilitas pada 25°C, (cm)	SNI 2434:2011	≥100
6.	Titik Nyala (°C)	SNI 2434:2011	≥232
7.	Kelarutan dalam Trichloroethylene (%)	AASHTO T44-03	≥99
8.	Berat Jenis	SNI 2434:2011	≥1,0
9.	Stabilitas Penyimpanan : Perbedaan titik lembek (°C)	ASTM D 5976 part 6.1	-
10.	Partikel yang lebih halus dari 150 micron (µm) (%)		

No.	Jenis Pengujian	Metoda Pengujian	Tipe I Aspal Pen. 60-70
	Pengujian Residu hasil TFOT (SNI-06-2440-1991) atau RTFOT (SNI-03-6835-2002) :		
11.	Berat yang Hilang (%)	SNI 06-2441-1991	≤ 0.8
12.	Viskositas Dinamis 60°C (Pa.s)	SNI 03-6441-2000	≤ 800
13.	Penetrasi pada 25°C (%)	SNI 06-2456-1991	≥ 54
14.	Duktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2434:2011	≥ 100
15.	Keelastisan setelah Pengembalian (%)	AASHTO T 301-98	-

Sumber : Buku Spesifikasi Umum Bina Marga Divisi 6, Tahun 2010 Revisi 3.

2.4 Pengujian Di Laboratorium Untuk Agregat Kasar, Halus, dan Filler

2.4.1 Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar (SNI 03-1969-1990)

a. *Bulk specific gravity* (berat jenis curah)

Berat jenis *bulk* adalah berat jenis dimana volume yang diperhitungkan adalah seluruh volume pori yang ada (volume pori yang dapat diresapi air dan volume pori yang tidak dapat diresapi air).

$$\text{Berat jenis curah (Bulk)} = \frac{B_k}{B_j - B_a} \dots\dots\dots (2.1)$$

b. Berat jenis kering-permukaan jenuh (*saturated surface dry*)

Pada kenyataan aspal yang digunakan secara normal hanya akan meresapi sebagian dari pori yang dapat diresapi oleh air itu. Dengan demikian sebaiknya menggunakan berat jenis efektif.

$$\text{Berat jenis kering Permukaan jenuh (SSD)} = \frac{B_j}{B_j - B_a} \dots\dots\dots (2.2)$$

c. *Apparent specific gravity* (berat jenis semu)

Jika volume yang diperhitungkan adalah volume partikel dan bagian yang dapat diresapi air, maka disebut berat jenis *apparent*. Penggunaan berat jenis ini dalam perhitungan jika dianggap aspal dapat meresapi seluruh bagian yang dapat diresapi air.

$$\text{Berat jenis semu (Apparent)} = \frac{B_k}{B_k - B_a} \dots\dots\dots (2.3)$$

d. Penyerapan :

$$\text{Penyerapan air} = \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100 \% \dots\dots\dots (2.4)$$

Dengan :

B_k = Berat benda uji kering oven (gram)

B_j = Berat benda uji kering permukaan jenuh (gram)

B_a = berat benda uji dalam air (gram)

2.4.2 Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus (SNI 03-1970-1990)

a. Berat jenis curah (*Bulk*) = $\frac{B_k}{B + 500 - B_t} \dots\dots\dots (2.5)$

b. Berat jenis jenuh kering Permukaan (SSD) = $\frac{500}{B + 500 - B_t} \dots\dots\dots (2.6)$

c. Berat jenis semu (*Apparent*) = $\frac{B_k}{B + B_k - B_t} \dots\dots\dots (2.7)$

d. Penyerapan air = $\frac{500 - B_k}{B_k} \times 100 \% \dots\dots\dots (2.8)$

Dengan :

B_k = berat benda uji kering permukaan jenuh
 B = berat benda uji kering permukaan jenuh di dalam air
 B_t = berat benda uji kering oven
 500 = berat benda uji dalam keadaan kering permukaan jenuh

2.4.3 Pengujian Keausan Agregat/Abrasi (SNI 03-2417-1991)

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan ketahanan agregat kasar terhadap keausan dengan menggunakan mesin *Abrasi Los Angeles* yang dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus lolos saringan No.12 (1,7 mm) terhadap berat semula, dalam persentase.

Pemeriksaan untuk menentukan keausan material:

$$\text{Keausan} = \frac{a-b}{a} \times 100\% \dots\dots\dots (2.9)$$

Dengan :

a = Berat benda uji semula (gram)

b = Berat benda uji tertahan saringan no. 12 (gram)

Pengujian ketahanan agregat kasar terhadap keausan dapat dilakukan dengan salah satu dari 7 (tujuh) cara berikut :

1. Cara A : Gradasi A, bahan lolos 37,5 mm sampai tertahan 9,5 mm. Jumlah bola 12 buah dengan 500 putaran.
2. Cara B : Gradasi B, bahan lolos 19 mm sampai tertahan 9,5 mm. Jumlah bola 11 buah dengan 500 putaran.
3. Cara C : Gradasi C, bahan lolos 9,5 mm sampai tertahan 4,75 mm (No.4). Jumlah bola 8 buah dengan 500 putaran.
4. Cara D : Gradasi D, bahan lolos 4,75 mm (No.4) sampai tertahan 2,36 mm (No.8). Jumlah bola 6 buah dengan 500 putaran.
5. Cara E : Gradasi E, bahan lolos 75 mm (No.4) sampai tertahan 37,5 mm. Jumlah bola 12 buah dengan 1000 putaran.

6. Cara F : Gradasi F, bahan lolos 50 mm sampai tertahan 25 mm. Jumlah bola 12 buah dengan 1000 putaran.
7. Cara G : Gradasi G, bahan lolos 37,5 mm sampai tertahan 19 mm. Jumlah bola 12 buah dengan 1000 putaran

Bila tidak ditentukan cara yang harus dilakukan, maka pemilihan gradasi disesuaikan dengan contoh material yang merupakan wakil dari material yang akan digunakan.

2.4.4 Pengujian Gradasi (SNI 03-1968-1990)

Tujuan pengujian ini ialah untuk memperoleh distribusi besaran atau jumlah persentase butiran baik agregat halus maupun agregat kasar.

Analisa Saringan

$$a. \text{ Persen tertahan} = \frac{\text{Komulatif Berat Tertahan Saringan}}{\text{Berat Awal}} \times 100 \dots\dots\dots (2.10)$$

$$b. \text{ Persen lolos} = 100\% - \text{Komulatif Persen Tertahan Tiap Saringan} \dots\dots\dots (2.11)$$

2.5 Campuran Beraspal Panas

Campuran beraspal panas terdiri atas agregat dan aspal. Dalam beberapa hal, bahan pengisi akan diperlukan untuk menjamin tercapainya sifat-sifat campuran yang sesuai dengan persyaratan yang ditentukan, tetapi pada umumnya penggunaan mineral bahan pengisi dibatasi. Hal ini karena penggunaan bahan pengisi yang berlebihan dapat mengurangi ruang untuk aspal. Campuran menjadi kurang awet selama masa pelayanan dan lebih mudah rusak karena variasi yang tidak diharapkan dalam proporsi campuran.

2.5.1 Jenis-jenis Campuran Beraspal

1. Lapis Tipis Aspal Pasir (*Sand Sheet, SS*) kelas A dan B

Lapis Tipis Aspal Pasir (Latasir) yang selanjutnya disebut SS, terdiri dari dua jenis campuran, SS-A dan SS-B. Pemilihan SS-A dan SS-B tergantung pada tebal nominal minimum. Sand Sheet biasanya memerlukan penambahan filler agar memenuhi kebutuhan sifat-sifat yang di isyaratkan. Campuran ini ditujukan untuk jalan dengan lalu lintas ringan, khususnya pada daerah dimana agregat kasar sulit diperoleh. Pemilihan kelas A dan B terutama pada gradasi pasir yang digunakan. campuran ini mempunyai

ketahanan yang rendah terhadap alur, oleh karena itu tidak boleh digunakan dengan lapisan yang tebal, pada jalan dengan lalu lintas berat dan pada daerah tanjakan.

2. Lapis Tipis Aspal Beton (*Hot Rolled Sheet, HRS*)

Lapis Tipis Aspal Beton (Lataston) yang selanjutnya disebut HRS, terdiri dari dua jenis campuran, yakni Lataston lapis pondasi (*HRS-Base*) dan Lataston lapis permukaan (*HRS-Wearing Course, HRS-WC*) dan ukuran maksimum agregat masing-masing campuran adalah 19 mm. Lataston lapis pondasi (*HRS-Base*) mempunyai gradasi yang lebih kasar dari Lataston lapis permukaan (*HRS-Wearing Course*).

Untuk mendapatkan hasil yang lebih memuaskan, maka campuran harus dirancang sampai memenuhi semua ketentuan yang diberikan dalam spesifikasi. Dua kunci utama adalah :

i. Gradasi yang benar-benar senjang

Agar diperoleh gradasi yang benar-benar senjang, maka selalu dilakukan pencampuran pasir halus dengan agregat pecah mesin.

ii. Sisa rongga udara pada kepadatan membal (*refusal density*) harus memenuhi ketentuan yang ditunjukkan dalam spesifikasi ini.

3. Lapis Aspal Beton (*Asphalt concrete, AC*)

Lapis Aspal Beton (Laston) yang selanjutnya disebut AC, terdiri dari tiga jenis campuran, AC Lapis Aus (*AC-WC*) yang merupakan lapisan perkerasan jalan paling atas, berfungsi sebagai lapisan yang melindungi lapisan dibawahnya dari pengaruh air. AC Lapis Antara (*AC-Binder Couse, AC-BC*), merupakan lapisan yang berada diantara lapisan permukaan dan lapisan pondasi, yang berfungsi mengurangi tegangan akibat beban lalu lintas yang ada. AC Lapis Pondasi (*AC-Base*) yang merupakan lapisan pondasi perkerasan beton aspal yang bersifat menahan beban roda ylalulintas yang ada serta menyalurkan beban ke lapisan dibawahnya. Ukuran maksimum agregat untuk masing-masing campuran adalah 19 mm, 25,4 mm, dan 37,5 mm. setiap jenis campuran *Asphalt Concrete* yang menggunakan bahan Aspal Polimer atau Aspal dimodifikasi dengan Aspal Alam atau Aspal Multigrade disebut masing-masing sebagai *AC-WC modified*, *AC-BC modified*, dan *AC-Base modified*.

2.5.2 Persyaratan Campuran Beraspal Panas

Campuran beraspal panas harus memenuhi persyaratan-persyaratan spesifikasi bina marga 2010 revisi 3 seperti tercantum dalam tabel berikut ini.

Tabel 2.5. Tabel ketentuan Sifat-sifat Campuran Beraspal Panas

Sifat-sifat Campuran		Laston (AC)		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Lapis Pondasi
Jumlah tumbukan per bidang		75		112 ⁽¹⁾
Rasio partikel lolos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif	Min.	1,0		
	Maks.	1,4		
Rongga dalam campuran (%) ⁽²⁾	Min.	3,0		
	Maks.	5,0		
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Min.	15	14	13
Rongga Terisi Aspal (%)	Min.	65	65	65
Stabilitas Marshall (kg)	Min.	800		1800 ⁽¹⁾
Pelelehan (mm)	Min.	2		3
	Maks.	4		6 ⁽¹⁾
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60 °C ⁽³⁾	Min.	90		
Rongga dalam campuran (%) padaKepadatan membal (refusal) ⁽⁴⁾	Min.	2		

Sumber : Buku Spesifikasi umum Bina Marga Divisi 6, Tahun 2010 Revisi 3.

Rumus-Rumus Untuk Campuran Beraspal Panas Dengan Alat Marshall

1. Berat Jenis *Bulk*/curah Agregat Campuran (G_{sb})

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}} \dots\dots\dots (2.12)$$

Dengan :

G_{sb} = Berat jenis *bulk*/curah agregat campuran

$P_1, P_2, \dots, P_n$ = Persentase berat masing-masing fraksi agregat terhadap
berat total agregat campuran

$G_1, G_2, \dots, G_n$ = Berat jenis bulk dari masing-masing fraksi agregat
(fraksi 1-n)

2. Berat Jenis Semu (G_{sa})

$$G_{sa} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}} \dots\dots\dots (2.13)$$

Dengan :

G_{sa} = Berat jenis semu agregat campuran

$G_1, G_2, \dots, G_n$ = Berat jenis bulk dari masing-masing fraksi agregat (fraksi 1-n)

3. Berat Jenis Efektif Agregat Campuran (G_{se})

$$G_{se} = \frac{100 - P_a}{\frac{100}{G_{mm}} - \frac{P_a}{G_a}} \dots\dots\dots (2.14)$$

Dengan :

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

G_{mm} = Berat jenis maksimum dari beton aspal

P_a = % aspal, persen dari berat total campuran

G_a = Berat jenis aspal

100 merupakan berat beton aspal yang belum dipadatkan (gram)

4. Berat Jenis Maksimum Campuran dengan Perbedaan Kadar Aspal (G_{mm})

$$G_{mm} = \frac{100}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_a}{G_a}} \dots\dots\dots (2.15)$$

Dengan :

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

P_s = % agregat, persen dari berat total campuran

5. Penyerapan Aspal (P_{ab})

$$P_{ab} = 100 \frac{(G_{se} - G_{sb})}{G_{sb} \times G_{se}} G_a \dots\dots\dots (2.16)$$

Dengan :

P_{ab} = Kadar aspal yang terabsorbsi ke dalam pori butir agregat (%)

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

6. Kadar Aspal Efektif yang Menyelimuti Agregat (P_{ae})

$$P_{ae} = P_a - \frac{P_{ab}}{100} \times P_s \dots\dots\dots (2.17)$$

Dengan :

P_{ae} = kadar aspal efektif yang menyelimuti butir-butir agregat (%)

7. Kadar Aspal Tengah (P)

$$P = 0.035(\%CA) + 0.045(\%FA) + 0.18(\%filler) + K \dots\dots\dots (2.18)$$

Dengan :

P = Kadar aspal tengah

CA = Persen agregat tertahan saringan no. 8

FA = Persen agregat lolos saringan no. 8 tertahan saringan no. 200

K = Konstanta = 0.5 – 1.0 → untuk Laston

8. Volume Pori dalam Agregat Campuran (VMA), sebagai Persentase dari Berat Beton Aspal Padat

$$VMA = \left(100 - \frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}} \right) \dots\dots\dots (2.19)$$

Dengan :

VMA = Volume pori antara agregat di dalam beton aspal padat (%)

G_{mb} = Berat jenis *bulk* beton aspal padat

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

P_s = Kadar agregat, (%) terhadap beton aspal padat

9. Volume Pori dalam Agregat Campuran (VMA), sebagai persentase dari Berat Agregat.

$$VMA = \left(100 - \frac{G_{mb}}{G_{sb}} \times \frac{100}{100 + P_{a1}} \times 100\% \right) \dots\dots\dots (2.20)$$

Dengan :

VMA = Volume pori antara agregat di dalam beton aspal padat (%)

G_{mb} = Berat jenis *bulk* beton aspal padat

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

P_{a1} = Kadar agregat, (%) terhadap berat agregat

10. Volume Pori dalam Beton Aspal Padat (VIM)

$$VIM = \left(100 - \frac{G_{mm} \times G_{mb}}{G_{mm}} \right) \dots\dots\dots (2.21)$$

Dengan :

VIM = Volume pori dalam beton aspal padat (%)

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

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

11. Rumus Fuller (P)

$$P = 100 \left(\frac{d}{D} \right)^{0.45} \dots\dots\dots (2.22)$$

Dengan :

P = Persen lolos saringan dengan bukaan saringan d mm

d = Ukuran agregat yang diperiksa (mm)

D = Ukuran maksimum agregat yang terdapat dalam campuran (mm)

12. Volume Pori Antar Butiran Agregat yang Terisi Aspal (VFA)

$$VFA = \frac{100(VMA - VIM)}{VMA} \dots\dots\dots (2.23)$$

Dengan :

VFA = Volume pori antar butir agregat yang terisi aspal, % dari VMA

VMA = Volume pori antara agregat di dalam beton aspal padat, % dari volume *bulk* beton aspal padat

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

2.6 PEMADATAN.

Menurut Sukirman (1999), pemadatan adalah proses yang mana partikel-partikel solid dirapatkan secara mekanis sehingga volume rongga dalam campuran mengecil dan kepadatan campuran meningkat dan mengatur distribusi partikel agregat dalam campuran sehingga menghasilkan konfigurasi agregat optimum dalam mencapai kepadatan yang ditargetkan.

Jumlah tumbukan yang berlebihan akan membuat lapisan perkerasan yang terlalu padat dan bersifat plastis sehingga rentan terjadi retak jika beban kendaraan yang melalui lapis perkerasan terlalu besar selain itu akibat pemadatan yang berlebihan maka akan terjadi *bleeding* yaitu naiknya aspal kepermukaan yang mengakibatkan aspal menjadi licin dan pada temperatur tinggi aspal menjadi lunak dan terjadi jejak roda. Sedangkan kurangnya jumlah tumbukan akan membuat banyaknya rongga didalam campuran lapis perkerasan dan campuran lebih bersifat elastis sehingga air mudah masuk kedalam lapis perkerasan kemudian aspal mudah mengelupas dan akan menimbulkan dampak perubahan bentuk dan membentuk gelombang dan alur akibat beban roda kendaraan yang melintas.

2.6.1 Pengaruh Pemadatan Terhadap Campuran Aspal

Dalam pelaksanaan pekerjaan perkerasan jalan raya jumlah tumbukan dan pemadatan aspal sangat berpengaruh terhadap karakteristik lapisan aspal. Campuran beraspal panas untuk perkerasan lentur dirancang menggunakan metode *Marshall*. Pemadatan mempengaruhi kekuatan campuran aspal terutama dari nilai-nilai parameter *Marshall* seperti stabilitas dan kadar plastis atau elastisnya suatu campuran, kedua parameter tersebut berpengaruh besar terhadap kekuatan dan keawetan suatu campuran aspal (Alamsyah, 2012). Indeks plastisitas suatu campuran dipengaruhi salah satunya oleh jumlah tumbukan

hal ini dikarenakan peningkatan jumlah tumbukan akan membuat kerapatan antar agregat dan aspal menjadi lebih rapat sehingga campuran menjadi lebih padat dan campuran akan cenderung bersifat plastis ketika jumlah tumbukan ditingkatkan (Sastra, 2009).

2.7 SUHU / TEMPERATUR

Aspal pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat. Jika dipanaskan sampai suatu temperatur tertentu aspal dapat menjadi lunak/cair sehingga dapat membungkus partikel agregat pada waktu pembuatan aspal beton atau masuk kedalam pori-pori saat penyemprotan/penyiraman pada perkerasan macadam ataupun peleburan. Jika temperatur mulai turun, aspal akan mengeras dan mengikat agregat pada tempatnya (sifat termoplastis).

Suhu berpengaruh terhadap pencampuran dan pemadatan dalam pelaksanaan perkerasan. Suhu pemadatan merupakan faktor yang sangat penting dalam proses pemadatan pada campuran beraspal, karena akan sangat berpengaruh pada tingkat kepadatan campuran aspal beton yang selanjutnya akan mempengaruhi karakteristik beton aspal. Proses pemadatan campuran beraspal yang tidak dilakukan pada temperatur yang tepat akan mengakibatkan kepadatan (berat isi) tidak tercapai dan campuran menjadi boros. Untuk mendapatkan suhu optimum pemadatan pada campuran beraspal maka diperlukan uji laboratorium untuk mengetahui suhu optimum pemadatan dari campuran beton aspal.

Namun pemanasan aspal kadang-kadang menyimpang dari yang diharapkan, Utamanya akibat termometer yang kurang berfungsi, penyimpangan pemanasan aspal akan menyebabkan:

- a. Aspal terbakar, sehingga mengurangi kelekatan terhadap agregat akibat temperatur terlalu tinggi
- b. Campuran tidak homogen karena kelekatan dengan agregat kurang baik akibat temperatur terlalu rendah.
- c. Penyelaputan aspal pada butir agregat terlalu tebal akibat dari temperatur aspal terlalu rendah.

Setiap jenis aspal mempunyai kepekaan terhadap temperatur berbeda – beda, karena kepekaan tersebut dipengaruhi oleh komposisi kimiawi aspalnya, walaupun mungkin mempunyai nilai penetrasi atau viskositas yang sama pada temperatur tertentu. Pemeriksaan sifat kepekaan aspal terhadap perubahan temperatur perlu dilakukan sehingga diperoleh

informasi tentang rentang temperatur yang baik untuk pelaksanaan pekerjaan. Pada tabel 2.6. Memperllihatkan nilai viskositas dan temperatur aspal untuk pencampuran dan pemadatan.

Tabel 2.6. Ketentuan Viskositas dan Temperatur Aspal Untuk Pencampuran dan Pemadatan

NO	Prosedur Pelaksanaan	Viskositas aspal (PA.S)	Perkiraan Temperatur Aspal (°C)	
			TIPE I	TIPE IIB
1.	Pencampuran benda uji Marshall	0,2	155 ± 1	165 ± 1
2.	Pemadatan benda uji Marshall	0,4	145 ± 1	155 ± 1
3.	Pencampuran, rentang temperatur sasaran	0,2 – 0,5	145 – 155	155 – 165
4.	Menuangkan campuran dari Alat Pencampur ke dalam truk	± 0,5	135 – 150	145 – 160
5.	Pamasokan ke alat penghamparan (<i>paver</i>)	0,5 – 1,0	130 – 150	140 – 160
6.	Pemadatan Awal (roda baja)	1 – 2	125 – 145	135 – 155
7.	Pemadatan Antara (roda karet)	2 – 20	100 – 125	110 – 135
8.	Pemadatan Akhir (roda baja)	< 20	> 95	> 105

Sumber : Buku Spesifikasi Umum Bina Marga Divisi 6, Tahun 2010 Revisi 3.

2.8 Karakteristik Campuran Aspal Beton

Karakteristik campuran yang harus dimiliki oleh campuran aspal beton campuran panas adalah :

2.8.1 Stabilitas

Stabilitas lapisan perkerasan jalan adalah kemampuan lapisan perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur ataupun bleeding (Sukirman, 1992). Kebutuhan akan stabilitas setingkat dengan jumlah lalu lintas dan jumlah kendaraan yang akan menggunakan jalan tersebut. Jalan yang volume lalu lintasnya tinggi dan sebagian merupakan kendaraan berat menuntut stabilitas yang besar dibandingkan dengan jalan yang volume lalu lintasnya dilalui oleh kendaraan yang ringan saja.

Kestabilan yang terlalu tinggi menyebabkan lapisan itu menjadi kaku dan cepat mengalami retak, di samping itu karena volume antar agregat kurang, mengakibatkan kadar aspal yang dibutuhkan juga rendah. Hal ini menghasilkan film aspal tipis dan mengakibatkan ikatan aspal mudah lepas sehingga durabilitasnya rendah.

Stabilitas terjadi dari hasil geseran antara butir, penguncian antara partikel dan daya ikat yang baik dari lapisan aspal. Dengan demikian stabilitas yang tinggi dapat diperoleh dengan mengusahakan penggunaan :

1. Agregat dengan gradasi yang rapat (*Dense Graded*)
2. Agregat dengan permukaan yang kasar.
3. Agregat berbentuk kubus.
4. Aspal dengan penetrasi rendah.
5. Aspal dalam jumlah yang mencukupi untuk ikatan antar butir.

Agregat bergradasi baik, bergradasi rapat memberikan rongga antara butiran agregat (*Voids in Mineral Agregat = VMA*) yang kecil. Keadaan ini menghasilkan stabilitas yang tinggi, tetapi membutuhkan kadar aspal yang rendah untuk mengikat agregat. VMA yang kecil mengakibatkan aspal yang dapat menyelimuti agregat terbatas dan menghasilkan film aspal yang tipis. Film aspal yang tipis mudah lepas yang mengakibatkan lapisan tidak lagi kedap air, oksidasi mudah terjadi, dan lapisan perkerasan menjadi rusak. Pemakaian aspal yang banyak mengakibatkan aspal tidak lagi menyelimuti agregat dengan baik (*VMA* kecil) dan juga menghasilkan rongga antara campuran (*Void in Mix*

VIM) yang kecil. Adanya beban lalu lintas yang menambah pemadatan lapisan mengakibatkan lapisan aspal meleleh keluar (*bleeding*).

2.8.2 Keawetan atau daya tahan (*Durability*)

Merupakan kemampuan beton aspal menerima beban lalu lintas secara terus menerus seperti berat kendaraan dan gesekan antar roda kendaraan dengan permukaan jalan, serta menahan keausan akibat pengaruh cuaca dan iklim seperti udara, air dan perubahan temperatur. Durabilitas beton aspal dipengaruhi oleh tebalnya film aspal, banyaknya pori dalam campuran, kepadatan dan kedap airnya campuran.

Film aspal yang tebal akan membungkus agregat secara baik, beton aspal akan lebih kedap air sehingga kemampuannya untuk menahan keausan semakin baik. Tetapi jika semakin tebal selimut aspal maka akan sangat mudah terjadi *bleeding* yang mengakibatkan jalan semakin licin. Besarnya pori yang tersisa dalam campuran setelah pemadatan, mengakibatkan durabilitas beton aspal menurun. Semakin besar pori yang tersisa semakin tidak kedap air dan semakin banyak udara dalam beton aspal, menyebabkan semakin mudahnya film atau selimut aspal teroksidasi dengan udara sehingga menjadi getas dan menurun durabilitasnya.

2.8.3 Fleksibilitas (kekuatan)

Fleksibilitas pada lapisan perkerasan adalah kemampuan lapisan untuk mengikuti deformasi yang terjadi akibat beban lalu lintas berulang-ulang tanpa timbulnya retak dan perubahan volume.

Fleksibilitas yang tinggi dapat diperoleh dengan (Sukirman Silvia, Perkerasan Lentur Jalan Raya) :

1. Penggunaan agregat bergradasi senjang sehingga diperoleh VMA yang besar.
2. Penggunaan aspal lunak (aspal dengan penetrasi tinggi).
3. Penggunaan aspal yang cukup banyak sehingga diperoleh VIM yang kecil.

2.8.4 Tahanan Geser (*Skid Resistance*)

Kekesatan/tahanan geser (*skid resistance*) adalah kemampuan permukaan beton aspal terutama pada kondisi basah untuk memberikan gaya gesek pada roda sehingga kendaraan tidak mudah tergelincir ataupun slip. Faktor-faktor pendukung untuk mendapatkan tingkat kekesatan jalan yaitu kekasaran permukaan dari butir-butir agregat,

luas bidang kontak antar butir atau bentuk agregat, kepadatan campuran, tebal film aspal. Ukuran maksimum butir agregat ikut menentukan kekesatan permukaan. Dalam hal ini agregat yang digunakan tidak saja harus mempunyai permukaan yang kasar tetapi juga mempunyai daya tahan agar permukaannya tidak mudah menjadi licin akibat repetisi kendaraan.

2.8.5 Ketahanan kelelahan (*Fatigue Resistance*)

Ketahanan kelelahan adalah ketahanan dari lapisan aspal beton dalam menerima beban berulang tanpa terjadinya kelelahan berupa alur (*rutting*) dan retak.

Faktor yang mempengaruhi ketahanan terhadap kelelahan adalah (Sukirman Silvia, Perkerasan Lentur Jalan Raya) :

1. VIM yang tinggi dan kadar aspal yang rendah akan mengakibatkan kelelahan yang lebih cepat.
2. VMA yang tinggi dan kadar aspal yang tinggi dapat mengakibatkan lapis perkerasan menjadi fleksibel.

2.8.6 Kemudahan pekerjaan (*Workability*)

Mudah dilaksanakan adalah kemampuan campuran beton aspal untuk mudah dihamparkan dan dipadatkan. Tingkat kemudahan dalam pelaksanaan menentukan tingkat efisiensi pekerjaan. Faktor yang mempengaruhi tingkat kemudahan dalam proses penghamparan dan pemadatan adalah viskositas (kekentalan) aspal dan kepekaan aspal terhadap perubahan temperatur.

2.8.7 *Impermeability* (Kedap Air)

Impermeability adalah campuran aspal harus bersifat kedap air untuk melindungi lapisan perkerasan dibawahnya dari kerusakan yang disebabkan oleh air yang akan mengakibatkan campuran menjadi kehilangan kekuatan dan kemampuan untuk menahan beban lalu lintas.

Air dan udara dapat mengakibatkan proses penuaan aspal, pengelupasan film aspal dari permukaan agregat. Jumlah pori yang tersisa setelah beton aspal dipadatkan dapat menjadi indikator kedap air campuran

2.9 Metode Marshall Test

Metode Marshall Test dikembangkan oleh Bruce Marshall, seorang insinyur bahan aspal bersama-sama dengan *The Mississippi State Highway Department*. Kemudian pada tahun 1948 *The U.S. Army Corp of Engineering* meningkatkan dan menambah beberapa kriteria pada prosedur testnya dan pada akhirnya mengembangkan kriteria rancangan campuran pengujianya, kemudian distandarisasikan didalam *American Society for Testing and Material* 1989 (ASTM D-1559), Sejak itu test ini banyak diadopsi oleh berbagai organisasi dan pemerintahan.

Parameter penting yang ditentukan pengujian ini adalah beban maksimum yang dapat dipikul beton aspal padat sebelum hancur atau *Marshall Stability* dan jumlah akumulasi deformasi sampel sebelum hancur yang disebut *Marshall Flow*. Dan juga turunan dari keduanya yang merupakan nilai kekakuan berkembang (*pseudo stiffness*), yang menunjukkan ketahanan campuran terhadap deformasi permanen (*Shell Bitumen*, 1990). Parameter lain yang penting adalah analisis void yang terdiri dari *Void in The Mineral Aggregate (VMA)*, *Void in Mix (VIM)*, *Void Filled with Aspal (VFA)* yang ditentukan pada kondisi Marshall standar (2 x 75 tumbukan) dan Marshall kepadatan mutlak (2 x 400 tumbukan).

Pada sebagian besar agregat, daya ikat terhadap air jauh lebih besar jika dibandingkan terhadap aspal, karena air memiliki *wetting power* yang jauh lebih besar dari aspal. Keberadaan air yang terlalu lama pada permukaan beton aspal dan agregat juga akan berakibat kegagalan pengikatan ataupun berakibat munculnya potensi kehilangan daya ikat campuran beraspal.

Alat Marshall merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan proving ring (cincin penguji). *Proving ring* dilengkapi dengan arloji pengukur yang berguna untuk mengukur stabilitas campuran. Di samping itu terdapat arloji kelelahan (*flow meter*) untuk mengukur kelelahan plastis (*flow*). Benda uji ini berbentuk silinder dengan diameter 10 cm dan tinggi 7,5 cm dipersiapkan di laboratorium, dalam cetakan benda uji dengan menggunakan hammer (penumbuk) dengan berat 10 pon (4,536 kg) dan tinggi jatuh 18 inci (45,7 cm), dibebani dengan kecepatan tetap 50 mm/menit.

Setelah melakukan pengujian menggunakan alat Marshall, maka diperoleh data stabilitas, dan *Flow*. Sedangkan untuk parameter Marshall lainnya seperti Kepadatan, VMA, VIM, VFB dan Rasio Partikel diperoleh setelah melakukan perhitungan dengan persamaan parameter Marshall yang ada.

2.10 Hubungan Antara kadar aspal dengan parameter *Marshall*

Kecendrungan bentuk lengkung hubungan antar kadar aspal dengan parameter *Marshall* adalah :

1. Stabilitas akan meningkat jika kadar aspal bertambah, sampai mencapai nilai maksimum, dan setelah nilai stabilitas itu menurun.
2. Kelelehan atau *Flow* akan terus meningkat dengan meningkatnya kadar aspal yang ada.
3. Lengkung berat volume identik dengan lengkung stabilitas, tetapi nilai stabilitas tercapai pada kadar aspal yang sedikit lebih tinggi dari kadar aspal untuk mencapai *VMA* stabilitas maksimum.
4. Lengkung *VIM* akan terus menurun dengan bertambahnya kadar aspal sampai secara ultimit mencapai nilai minimum.
5. Lengkung *VMA* akan turun sampai mencapai nilai minimum dan kemudian kembali bertambah seiring dengan bertambahnya kadar aspal.
6. Lengkung *VFA* akan bertambah dengan bertambahnya kadar aspal, karena dalam hal ini makin banyak rongga yang terisi oleh aspal.

2.11 Hubungan Suhu dan Tumbukan dengan Parameter *Marshall*

Suhu pemadatan merupakan faktor yang sangat penting dalam proses pemadatan pada campuran beraspal, karena akan sangat berpengaruh terhadap tingkat kepadatan pada suatu campuran aspal beton yang selanjutnya akan mempengaruhi karakteristik beton aspal itu sendiri. Mengingat sifat aspal yang termoplastis yaitu menjadi cair saat suhu tinggi dan menjadi keras atau sangat kental jika suhu rendah, maka untuk itu suhu harus diperhatikan saat pengujian beton aspal di laboratorium.

Tumbukan merupakan proses pemadatan benda uji *marshall* di laboratorium dengan menggunakan alat penumbuk. Untuk mendapatkan proses pemadatan yang baik maka suhu saat proses pemadatan juga harus disesuaikan dengan tingkat suhu dari campuran beton aspal itu sendiri. Jika proses tumbukan dilakukan dengan suhu yang tinggi maka tingkat kepadatan dari campuran aspal beton tersebut semakin baik, namun sebaliknya jika proses tumbukan beton aspal dilakukan dengan suhu yang rendah, mengakibatkan aspal akan susah masuk dan meresap kedalam celah agregat sehingga sifat saling kunci antar agregat kurang maksimal serta menghasilkan suatu pemadatan yang kurang baik. Proses pemadatan yang menghasilkan tingkat kepadatan yang tidak memenuhi persyaratan, akan menyebabkan

menurunnya kualitas karakteristik *marshall*, seperti Kepadatan, stabilitas, kelelahan (*Flow*), VIM, VMA, dan VFB. Namun jika suhu rendah dan jumlah tumbukan ditambah maka campuran akan menghasilkan karakteristik marshall yang cukup baik begitupun sebaliknya, karena film aspal akan dengan mudah masuk kedalam rongga yang ada jika suhu pemadatan tinggi.

2.12 Karakteristik *Marshall*

Karakteristik campuran aspal panas agregat aspal dapat diukur dengan sifat-sifat *Marshall* yang ditunjukkan pada nilai-nilai sebagai berikut :

2.12.1 Kepadatan (*Density*)

Density merupakan tingkat kerapatan campuran setelah dipadatkan. Semakin tinggi nilai *density* suatu campuran menunjukkan bahwa kerapatannya semakin baik. Nilai *density* dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti gradasi campuran, jenis dan kualitas bahan penyusun, faktor pemadatan yang baik jumlah pemadatan maupun temperatur pemadatan, penggunaan kadar aspal dan penambahan bahan aditif dalam campuran. Campuran dengan nilai *density* yang tinggi akan mampu menahan beban yang lebih besar dibanding dengan campuran yang memiliki *density* yang rendah, karena butiran agregat mempunyai bidang kontak yang luas sehingga gaya gesek (*friction*) antar butiran agregat lebih besar. Selain itu *density* juga mempengaruhi kekedapan campuran, semakin besar kedap terhadap campuran, semakin kedap terhadap air dan udara.

2.12.2 Stabilitas (*Stability*)

Stabilitas merupakan kemampuan lapis keras untuk menahan deformasi akibat beban lalu lintas yang bekerja di atasnya tanpa mengalami perubahan bentuk tetap seperti gelombang (*was boarding*) dan alur (*ruting*). Nilai stabilitas dipengaruhi oleh bentuk, kualitas, tekstur permukaan dan gradasi agregat yaitu gesekan antar butiran agregat (*internal friction*) dan penguncian antar agregat (*interlocking*), daya lekat (*cohesion*) dan kadar aspal dalam campuran. Penggunaan aspal dalam campuran akan menentukan nilai stabilitas campuran tersebut. Seiring dengan penambahan aspal, nilai stabilitas campuran aspal akan meningkat hingga batas maksimum. Penambahan aspal di atas batas maksimum justru akan menurunkan stabilitas campuran itu sendiri sehingga lapis perkerasan menjadi kaku dan bersifat getas. Nilai stabilitas berpengaruh pada fleksibilitas lapis perkerasan yang dihasilkan.

Nilai stabilitas yang diisyaratkan adalah lebih dari 800 kg. Lapis perkerasan dengan stabilitas kurang dari 800 kg akan mudah mengalami *ruting*, karena perkerasan bersifat lembek sehingga kurang mampu mendukung beban. Sebaliknya jika stabilitas perkerasan terlalu tinggi maka perkerasan akan mudah retak karena sifat perkerasan menjadi kaku.

2.12.3 Void in the Mineral Aggregate (VMA)

Void in the Mineral Aggregate (VMA) adalah rongga udara antar butir agregat aspal padat, termasuk rongga udara dan kadar aspal efektif yang dinyatakan dalam persen terhadap total volume. Kuantitas rongga udara pengaruh terhadap kinerja suatu campuran karena jika *VMA* terlalu kecil maka campuran bisa mengalami masalah durabilitas dan jika *VMA* terlalu besar maka campuran akan memperlihatkan masalah stabilitas dan tidak ekonomis untuk diproduksi. Nilai *VMA* dipengaruhi oleh faktor pemadatan, yaitu data dan temperatur pemadatan, gradasi agregat dan kadar aspal. Nilai *VMA* ini berpengaruh pada sifat kekedapan campuran terhadap air dan udara serta sifat elastis campuran. Dapat juga dikatakan bahwa nilai *VMA* menentukan stabilitas, fleksibilitas dan durabilitas. Nilai *VMA* yang diisyaratkan adalah minimum 15%.

2.12.4 Void in the Mix (VIM)

Void in Mix (VIM) merupakan persentase rongga yang terdapat dalam total campuran. Nilai *VIM* berpengaruh terhadap keawetan lapis perkerasan, semakin tinggi nilai *VIM* menunjukkan semakin besar rongga dalam campuran sehingga campuran bersifat porous. Hal ini mengakibatkan campuran menjadi kurang rapat sehingga air dan udara mudah memasuki rongga-rongga dalam campuran yang mengakibatkan aspal mudah teroksidasi sehingga menyebabkan lekatan antar butiran agregat berkurang sehingga terjadi pelepasan butiran (*reveling*) dan pengelupasan permukaan (*stripping*) pada lapis perkerasan.

Nilai *VIM* yang terlalu rendah akan menyebabkan *bleeding* karena suhu yang tinggi, maka viskositas aspal menurun sesuai sifat termoplastisnya. Pada saat itu apabila lapis perkerasan menerima beban lalu lintas maka aspal akan terdesak keluar permukaan karena tidak cukupnya rongga bagi aspal untuk melakukan penetrasi dalam lapisan perkerasan. Nilai *VIM* yang lebih dari ketentuan akan mengakibatkan berkurangnya keawetan lapis perkerasan, karena rongga yang terlalu besar akan mudah terjadi oksidasi.

2.12.5 Void Filled with Asphalt (VFA)

Void Filled with Asphalt (VFA) merupakan persentase rongga terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan, yaitu jumlah dan temperatur pemadatan, gradasi agregat dan kadar aspal. Nilai *VFA* berpengaruh pada sifat kedapan campuran terhadap air dan udara serta sifat campuran elastisitas campuran. Dengan kata lain *VFA* menentukan stabilitas fleksibilitas dan durabilitas. Semakin tinggi nilai *VFA* berarti semakin banyak rongga dalam campuran yang terisi aspal sehingga kekedapan campuran terhadap air dan udara juga semakin tinggi, tetapi nilai *VFA* terlalu tinggi akan mengakibatkan *bleeding*. Nilai *VFA* yang terlalu kecil akan menyebabkan campuran kurang kedap terhadap air dan udara karena lapisan film aspal akan menjadi tipis dan akan mudah retak bila menerima penambahan beban sehingga campuran aspal mudah teroksidasi yang akhirnya menyebabkan lapis perkerasan tidak akan lama.

2.12.6 Kelelehan (*flow*)

Kelelehan (*flow*) adalah besarnya deformasi vertikal benda uji yang terjadi pada awal pembebanan sehingga durabilitas menurun, yang menunjukkan besarnya deformasi yang terjadi pada lapis perkerasan akibat menahan beban yang diterimanya. Deformasi yang terjadi erat kaitannya dengan sifat-sifat *marshall* yang lain seperti stabilitas, *VIM* dan *VFA*. Nilai *VIM* yang besar menyebabkan berkurangnya *interlocking resistance* campuran dan berakibat timbulnya deformasi. Nilai *VFA* yang berlebihan juga menyebabkan aspal dalam campuran berubah konsistensinya menjadi pelicin antar batuan. Nilai *flow* dipengaruhi oleh kadar dan viskositas aspal, gradasi agregat jumlah dan temperatur pemadatan. Campuran yang memiliki angka kelelehan rendah dengan stabilitas tinggi cenderung menjadi kaku dan getas. Sedangkan campuran yang memiliki angka kelelehan tinggi dan stabilitas rendah cenderung plastis dan mudah berubah bentuk apabila mendapat beban lalu lintas. Kerapatan campuran yang baik, kadar aspal yang cukup dan stabilitas yang baik akan memberikan pengaruh penurunan nilai *flow*.

Nilai *flow* yang rendah akan mengakibatkan campuran menjadi kaku sehingga lapis perkerasan menjadi mudah retak, sedangkan campuran dengan nilai *flow* tinggi akan menghasilkan lapis perkerasan yang plastis sehingga perkerasan akan mudah mengalami perubahan bentuk seperti gelombang (*washbording*) dan alur (*ruting*).

2.12.7 Rasio Partikel Lolos Ayakan No. #200 (0,075 mm) Dengan Kadar Aspal Efektif

Rasio antara partikel lolos saringan no. #200 dengan kadar aspal efektif adalah jumlah beban pengisi (*filler*) yang diperlukan, ketika ditambahkan pada jumlah kadar aspal yang tetap. Ketentuan Spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3 untuk rasio partikel adalah minimum 1,0 sampai dengan 1,4

Pengaruh rasio partikel dalam campuran beton aspal adalah:

1. Untuk memodifikasi agregat halus (*filler*), sehingga berat jenis campuran meningkat dan jumlah aspal (bitumen) yang diperlukan untuk mengisi rongga akan berkurang.
2. Rasio antara partikel lolos saringan no. #200 dengan kadar aspal optimum, secara bersamaan akan membentuk suatu campuran pada nilai terbaik yang akan membalut dan mengikat agregat secara optimal.
3. Mengisi ruang antar agregat halus dan kasar serta meningkatkan kepadatan dan kestabilan.

2.13 Standar Rujukan

2.13.1 Pemeriksaan Material

Standar pengujian pemeriksaan material pada penelitian ini mengacu pada Standar Nasional Indonesia berikut ini.

1. **SNI-03-1968-1990**, Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar (ASTM T-27).

Metode ini dimaksudkan sebagai pegangan dalam pemeriksaan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat halus dan agregat kasar dengan menggunakan saringan. Tujuannya adalah untuk memperoleh distribusi besaran atau jumlah presentase butiran baik agregat kasar maupun agregat halus.

2. **SNI-2417-2008**, Keausan Agregat dengan Mesin *Los Angeles* (ASTM T-96-02)

Standar pengujian ini meliputi prosedur untuk pengujian keausan agregat kasar dengan ukuran butir maksimum 19,1 mm (saringan no. $\frac{3}{4}$) sampai ukuran 9,52 mm (saringan No. $\frac{3}{8}$) dengan menggunakan mesin abrasi *Los Angeles*

3. **SNI-03-1969-1990**, Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar.

Sebagai pegangan dalam pengujian untuk menentukan berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh, berat jenis semu dari agregat kasar, serta angka penyerapan air dari agregat kasar.

4. **SNI-03-1970-1990**, Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Metode ini dimaksudkan sebagai acuan dalam pengujian untuk menentukan berat jenis curah, berat jenis permukaan jenuh, berat jenis semu, dan penyerapan air pada agregat halus.

5. **SNI-13-6717-2002**, tata cara penyiapan benda uji dari contoh agregat.

Tata cara ini membahas ketentuan dan cara penyiapan benda uji agregat dari suatu contoh agregat benda uji yang dihasilkan mempunyai sifat yang sama dengan contohnya. Lingkup tata cara ini mencakup, penyiapan benda uji dari contoh yang dating dari lapangan disesuaikan dengan kondisi agregat serta jumlah benda uji yang diperlukan.

2.13.2 Pengujian Perhitungan Campuran

Standar pengujian perhitungan campuran yang dipakai adalah sebagai berikut:

1. **SNI-06-2489-1991**, Pengujian Campuran Beraspal dengan Alat *Marshall* (AASHTO-245-78)

Metode ini dimaksudkan sebagai acuan dan pegangan dalam pelaksanaan pengujian campuran aspal dengan alat marshall. Tujuannya adalah untuk mendapatkan suatu campuran aspal yang memenuhi ketentuan-ketentuan yang telah ditetapkan didalam kriteria perencanaan. Pengujian ini meliputi pengukuran nilai stabilitas dan alir (*Flow*) dari suatu campuran aspal dengan agregat ukuran maksimum sesuai dengan tipe campuran.