

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Perkerasan Jalan

Sukirman (2003) mendefinisikan perkerasan jalan sebagai lapisan perkerasan yang berada di antara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan. Tujuannya untuk memudahkan pergerakan, dan diharapkan tidak terjadi kerusakan besar sepanjang waktu pelayanan.

Sukirman (1999) menyatakan bahwa konstruksi perkerasan jalan dapat diklasifikasikan ke dalam kategori berikut berdasarkan bahan pengikatnya:

1. Konstruksi Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*), yaitu perkerasan berbahan dasar aspal yang diikat dengan menggunakan aspal. Beban lalu lintas didistribusikan dan dibawa oleh lapisan perkerasan hingga ke tanah dasar. Struktur perkerasan jalan fleksibel terdiri dari dua lapisan: lapisan perantara dan lapisan keausan pada permukaan. Lapisan pondasi adalah lapisan di bawahnya dan terdiri dari lapisan subbase (pondasi bawah) dan lapisan pondasi atas (pondasi atas). Di atas tanah dasar yang dipadatkan (subgrade), lapisan ini diposisikan. Beban lalu lintas ditanggung bersama oleh tanah dasar dan seluruh komponen tingkat atas. Ketebalan struktur perkerasan dirancang untuk membatasi kapasitas tanah dasar dalam mendukung beban lalu lintas, alternatifnya dapat dikatakan bahwa ketebalan struktur perkerasan
2. Konstruksi Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*), yaitu semen portland digunakan dalam konstruksi perkerasan jenis ini. Pada tanah dasar, baik dengan atau tanpa lapisan pondasi bawah, dipasang pelat beton 7, diperkuat atau tidak. Pelat beton memikul sebagian besar beban lalu lintas.
3. Konstruksi Perkerasan Komposit (*Composite Pavement*), dengan kata lain perkerasan lentur pada perkerasan kaku atau perkerasan kaku pada perkerasan lentur dapat dicampur dengan perkerasan kaku.

2.2 Konstruksi Perkerasan Lentur Jalan

Pengguna jalan harus bisa merasa nyaman dan aman berada di trotoar. Selain itu, konstruksi perkerasan lentur harus memenuhi spesifikasi berikut:

1. Keadaan lalu lintas
 - a. Permukaannya bebas lubang, rata, dan tidak kendur. Hal ini juga tidak kasar.
 - b. Karena kekakuannya, permukaannya tidak mudah terdistorsi oleh beban roda mobil.
 - c. Karena permukaannya yang sangat kasar, terjadi gesekan yang kuat antara ban dan jalan, sehingga tidak mudah selip.
 - d. Saat terkena cahaya, permukaannya tidak mengkilap atau silau.

2. Kekakuan atau prasyarat struktural

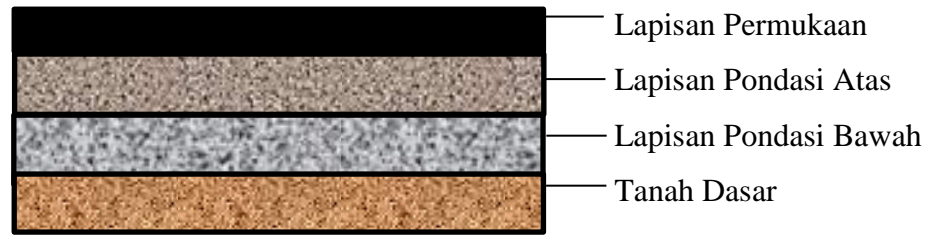
Ketika mempertimbangkan kapasitasnya untuk menopang dan menyebarkan beban, desain perkerasan harus memenuhi spesifikasi berikut:

- a. Ketebalan yang cukup untuk memungkinkan beban didistribusikan ke tanah dasar
- b. Air tidak mudah meresap ke lapisan bawah karena kedap air.
- c. Air hujan yang jatuh ke permukaan dapat segera dievakuasi karena seberapa baik permukaan tersebut mengalirkan air.
- d. Kekakuan untuk memikul beban tanpa menimbulkan deformasi; dengan kata lain, lapisan material penyusun perkerasan jalan dipilih dan dikerjakan sesuai dengan spesifikasi tertentu berdasarkan jenis dan fungsinya untuk mendistribusikan beban pada roda kendaraan sedemikian rupa sehingga tanah dasar, di dalam perkerasan, dapat menopangnya. .

2.3 Komponen Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*)

Umumnya perkerasan jalan terdiri dari beberapa bagian, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.1.

1. Tanah Dasar (*Sub Grade*)
2. Lapis Pondasi Bawah (*Sub Base Course*)
3. Lapis Pondasi Atas (*Base Course*)
4. Lapis Permukaan (*Surface*)



Gambar 2.1. Bagian-Bagian Perkerasan Jalan

Sumber: Sukirman, S. (1999)

2.3.1 Tanah Dasar (*Sub Grade*)

Permukaan asli yang dipadatkan, permukaan galian, atau permukaan timbunan dikenal sebagai tanah dasar dan berfungsi sebagai pondasi untuk pemasangan komponen perkerasan berikutnya. Karakteristik dan daya dukung tanah dasar mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan dan umur panjang konstruksi perkerasan jalan. Permasalahan mengenai tanah dasar seringkali melibatkan hal-hal berikut:

- a. Perubahan bentuk tetap (deformasi permanen) pada jenis tanah tertentu akibat beban lalu lintas.
- b. Karakteristik pemuaian dan penyusutan pada tanah tertentu akibat perubahan kadar air.
- c. Daya dukung tanah yang tidak menentu dan sulit ditentukan secara pasti pada daerah dan jenis tanah yang sangat berbeda sifat dan kedudukannya, atau akibat pelaksanaan.

2.3.2 Lapis Pondasi Bawah (*Sub Base Course*)

Lapis pondasi bawah adalah bagian perkerasan yang terletak antara lapis pondasi dan tanah dasar. Fungsi lapis pondasi bawah antara lain:

- a. Sebagai bagian dari konstruksi perkerasan untuk mendukung dan menyebarkan beban roda.
- b. Mencapai efisiensi penggunaan material yang relatif murah agar lapisan-lapisan selebihnya dapat dikurangi tebalnya (penghematan biaya konstruksi).
- c. Untuk mencegah tanah dasar masuk ke dalam lapis pondasi.
- d. Sebagai lapis pertama agar pelaksanaan dapat berjalan lancar.

Hal ini disebabkan oleh kemampuan tanah dasar yang sangat rendah dalam menahan beban roda alat berat dan karena kondisi lapangan yang mengharuskan tanah dasar segera ditutup untuk melindunginya dari cuaca buruk.

Bahan pondasi bawah dapat berasal dari jenis tanah lokal ($CBR > 20\%$, $PI < 10\%$) yang mempunyai kualitas unggul dibandingkan dengan tanah dasar. Kadang-kadang disarankan untuk menggabungkan tanah lokal dengan kapur atau semen portland sebagai penopang kuat bagi stabilitas pembangunan jalan.

2.3.3 Lapis Pondasi (*Base Course*)

perkerasan yang berada di antara lapisan permukaan dan lapisan subbase—atau, jika tidak ada lapisan subbase, dengan subgrade—disebut lapisan pondasi. Lapisan pondasi mempunyai fungsi sebagai berikut pada perkerasan jalan:

- a. Sebagai bagian yang memikul beban roda
- b. Sebagai posisi lapisan permukaan.

Untuk menopang beban roda, material lapisan pondasi harus cukup kuat dan tahan lama. Penting untuk melakukan analisa dan evaluasi sebaik-baiknya mengenai persyaratan teknis sebelum memilih material yang akan digunakan sebagai pondasi. Sebagai material lapisan pondasi, berbagai sumber daya alam atau lokal ($CBR > 50\%$, $PI < 4\%$) dapat digunakan, seperti batu pecah, kerikil pecah, dan stabilisasi tanah menggunakan semen atau kapur.

2.3.4 Lapis Permukaan (*Surface Course*)

Lapis Permukaan adalah bagian perkerasan yang paling atas. Fungsi lapis permukaan antara lain:

- a. Sebagai bahan perkerasan untuk menahan beban roda
- b. Sebagai lapisan rapat air untuk melindungi badan jalan kerusakan akibat cuaca.
- c. Sebagai lapisan aus (*wearing course*).

Bahan lapisan pondasi dan lapisan permukaan sama, namun persyaratannya lebih besar. Selain memberikan pelepas tegangan tarik yang meningkatkan daya dukung lapisan terhadap beban roda lalu lintas, penggunaan material aspal juga diperlukan agar lapisan

tersebut ke air. Untuk memaksimalkan laba atas investasi atas pengeluaran yang diinvestasikan, pertimbangan harus diberikan pada tujuan material, siklus hidup, dan fase pembangunan selama proses pemilihan.

2.4 Jenis-Jenis Campuran Beraspal Panas

Sukirman (2003) menegaskan bahwa suhu dan fungsi pencampuran merupakan dua faktor yang dapat membedakan beton aspal. Ada tiga jenis beton aspal: beton aspal campuran panas, beton aspal campuran sedang, dan beton aspal campuran dingin. Ini didasarkan pada suhu saat material dicampur dan dipadatkan. Bina Marga (2018) menyebutkan ciri-ciri beton aspal campuran panas dapat dibedakan sebagai berikut:

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

Lapis Tipis Aspal Pasir (Latasir) yang selanjutnya disebut SS, terdiri dari campuran SS-A dan SS-B. Ketebalan nominal terendah menentukan SS-A dan SS-B mana yang akan digunakan. Dalam kebanyakan kasus, bahan pengisi diperlukan untuk memberikan kualitas yang diinginkan pada lembaran pasir. Campuran ini dimaksudkan untuk digunakan pada jalan dengan lalu lintas rendah, khususnya di tempat-tempat yang sulit menemukan agregat kasar. Gradasi pasir yang digunakan merupakan penentu utama dalam pemilihan kelas A dan B. Kombinasi ini tidak boleh digunakan pada lapisan tebal, pada jalan yang dilalui lalu lintas padat, atau pada tempat miring karena terbatasnya ketahanan terhadap alur.

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

Lapis Tipis Aspal Beton (Lataston) yang kemudian disebut *HRS (Hot Rolled Shett)*, memiliki dua jenis campuran yang berbeda: lapisan permukaan Lataston (*HRS-Wearing Course, HRS-WC*) dan lapisan pondasi Lataston (*HRS-Base*). Setiap campuran mempunyai ukuran agregat maksimal 19 mm. Gradasi lapisan pondasi Lataston (*HRS-Base*) lebih kasar dibandingkan dengan lapisan permukaannya (*HRS-Wearing Course*). Lapis Pondasi (*HRS-Base*) digunakan sebagai lapisan dasar untuk memberikan struktur dan stabilitas awal pada permukaan jalan dan lapisan ini berfungsi mendistribusikan beban lalu lintas ke lapisan dibawahnya serta memberikan struktur dasar yang kuat. Sedangkan Lapis Aus (*HRS-WC*) mempunyai peran memberikan permukaan yang tahan lama dan nyaman

untuk beban lalu lintas melewatinya dan lapisan ini berfungsi memberikan ketahanan terhadap abrasi, gesekan ban, dan kondisi cuaca ekstrem.

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

Lapis Aspal Beton (Laston) yang kemudian disebut *AC (Asphalt Concrete)*, mencakup tiga jenis campuran yang berbeda: AC-Binder Course (*AC-BC*), AC-Binder Course (*AC-BC*), dan AC-Base (*AC-Base*). Masing-masing kombinasi mempunyai ukuran agregat maksimum sebesar 19 mm, 25,4 mm, dan 37,5 mm.” Istilah modifikasi AC-WC, modifikasi AC-BC, dan modifikasi AC-Base masing-masing mengacu pada masing-masing jenis campuran AC yang menggunakan Aspal Polimer. , Aspal dimodifikasi dengan Aspal Alam, atau Aspal dimodifikasi dengan Aspal Multigrade.

2.5 Penyusun Campuran Laston (*HRS-Base*)

Laston (Lapis Tipis Aspal Beton) dikenal dengan nama *Hot Rolled Sheet (HRS)* merupakan jenis aspal beton campuran panas yang memiliki gradasi senjang. Laston terdiri dari dua jenis campuran yaitu Lapis Pondasi (*HRS-Base*) dan Lapis Aus (*HRS-Wearing Course*) dan ukuran maksimum agregat masing-masing campuran adalah 19 mm atau yang lolos saringan 3/4” (Bina Marga, 2018 revisi 2).

Lapis Pondasi (*HRS-Base*) digunakan sebagai lapisan dasar untuk memberikan struktur dan stabilitas awal pada permukaan jalan dan lapisan ini berfungsi mendistribusikan beban lalu lintas ke lapisan dibawahnya serta memberikan struktur dasar yang kuat. Tebal nominal minimum Lapis Pondasi (*HRS-Base*) adalah 3,5 cm dan toleransi tebalnya yaitu -3,0 mm. Laston (*HRS-Base*) mempunyai sifat-sifat campuran yaitu kadar aspal efektif nilai minimum 5,5%, jumlah tumbukan per bidang 2x50 tumbukan, rongga dalam campuran (*VIM*) minimum 3,0% dan maksimum 5,0%, rongga dalam agregat (*VMA*) nilai minimum 17%, rongga terisi aspal (*VFA*) nilai minimum 68%, nilai stabilitas *masrhall* 600 kg, dan *Marshall Quotient (MQ)* nilai minimum 250 kg/mm.

2.5.1 Agregat

Kumpulan batu pecah, kerikil, pasir, atau butiran mineral buatan atau alami lainnya disebut agregat. Persyaratan agregat yang tercantum pada tabel di bawah ini, yang

meliputi persyaratan agregat, harus dipenuhi oleh agregat yang digunakan pada campuran lapisan pondasi Lataston.

Secara khusus, agregat sangat penting untuk pengembangan perkerasan jalan dan aspek infrastruktur transportasi lainnya. Sifat-sifat agregat yang digunakan sangat mempengaruhi daya dukung perkerasan jalan. Keberhasilan pembangunan jalan baru akan sangat dipengaruhi oleh pemilihan agregat yang sesuai dan memenuhi spesifikasi.

Agregat yang akan digunakan dalam penelitian ini diambil dari *Quarry* Pariti yang diolah oleh PT. Cahaya Berlian Jaya Abadi yang selanjutnya akan dilakukan pengujian karakteristik material berupa berat jenis dan penyerapan, abrasi dan gradasi.

Agregat yang digunakan dalam campuran Lataston (*HRS-Base*) beraspal dibagi atas 2 (dua) fraksi, yaitu :

1. Agregat Kasar

Agregat kasar adalah agregat yang tertahan saringan atau ayakan No. 4 (4,75 mm) yang dilakukan secara dicuci dan harus bersih, keras awet dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya (Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2). Ketentuan yang harus dipenuhi oleh agregat kasar menurut spesifikasi Bina Marga dapat dilihat pada Tabel 2,1.

Tabel 2.1 Penentuan Agregat Kasar

Pengujian		Metode Pengujian	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan	Natrium sulfat	SNI 3407:2008	Maks. 12%
	Magnesium sulfat		Maks. 18%
Abrasi dengan mesin <i>Los Angeles</i>	Campuran AC Modifikasi dan SMA	100 putaran	Maks. 6%
		500 putaran	Maks. 30%
	Semua jenis campuran beraspal bergradasi lainnya	100 putaran	Maks. 8%
		500 putaran	Maks. 40%
Kekekalan bentuk agregat terhadap aspal		SNI 2439:2011	Min. 95%
Butir pecah pada agregat kasar	SMA	SNI 7619:2012	100/90*
	Lainnya		95/90*
Partikel pipih dan lonjong	SMA	ASTM D4791-10	Maks. 5%
	Lainnya	Perbandingan 1:5	Maks. 10%
Material lolos ayakan No. 200		SNI ASTM	Maks. 1%

Pengujian	Metode Pengujian	Nilai
	C117:2012	

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2.

2. Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat yang lolos saringan No. (4,75 mm) terdiri dari pasir atau pengayakan batu pecah (Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2). Adapun ketentuan agregat halus menurut spesifikasi Bina Marga dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Penentuan Agregat Halus

Pengujian	Metode Pengujian	Nilai
Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 50%
Uji kadar rongga tanpa pemadatan	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: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2

2.5.2 Bahan Pengisi (*Filler*)

Bahan pengisi (*filler*) berfungsi sebagai pengisi rongga udara pada material sehingga memperkaku lapisan aspal. Agregat ini merupakan material yang lolos ayakan no.200 (0,074 mm). Bahan yang sering digunakan sebagai *filler* adalah semen, *fly ash*, abu sekam, debu batu kapur dan semen *Portland* atau bahan lainnya. Namun *filler* yang akan digunakan dalam penelitian nanti adalah semen saja yang akan mengisi bagian-bagian kosong dari susunan aspal beton.

2.5.3 Aspal

Aspal adalah lem yang mempunyai kualitas termoplastik dan padat hingga agak padat pada suhu kamar. Dengan kata lain, aspal akan meleleh pada suhu tertentu dan kemudian membeku kembali pada suhu yang lebih rendah. Aspal merupakan salah satu komponen penyusun campuran perkerasan jalan, selain agregat. Aspal keras dengan tingkat penetrasi 60/70 yang diproduksi oleh Pertamina merupakan bahan pengikat yang

digunakan. Jumlah aspal yang berlebihan dalam campuran Lataston akan membuatnya menjadi sangat lunak, sehingga sulit untuk melakukan pemadatan untuk menciptakan lapisan yang stabil. Sebaliknya, jika aspal yang ditambahkan terlalu sedikit, campuran dapat menjadi kaku dan patah selama pemadatan. Tabel 2.3 mencantumkan persyaratan Aspal Keras Penetrasi 60. Dalam percobaan laboratorium, kadar aspal ditentukan dua kali, khususnya pada prosedur yang menggunakan metode Marshall. Dengan menggunakan formula yang dirancang untuk membuat rencana campuran, keputusan pertama adalah mengidentifikasi rencana atau kadar aspal antara; yang kedua adalah mencari kadar aspal yang optimal. Satu-satunya cara untuk mengetahui kadar aspal yang ideal adalah dengan menguji parameter Marshall di laboratorium.

Jenis aspal penetrasi 60/70 produksi Pertamina ini akan digunakan dalam penelitian ini yang diperoleh dari Laboratorium Pengujian Bahan PUPR Provinsi Nusa Tenggara Timur. Dalam Spesifikasi Bina Marga 2018 Divisi 2 telah mencantumkan ketentuan-ketentuan untuk aspal keras yang dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Ketentuan-Ketentuan Untuk Aspal Keras

No.	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Tipe I Aspal Pen. 60-70	Tipe II Aspal Dimodifikasi	
				A	B
				PG70	PG76
1.	Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI 2456:2011	60-70	Dilaporkan ⁽¹⁾	
2.	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis (G*/sin) pada osilasi 10 rad/detik ≥1,0 kPa, (°C)	SNI 06-6442-2000	-	70	76
3.	Viskositas Kinematis 135°C (cSt) ⁽³⁾	ASTM D2170-10	≥300	≤3000	
4.	Titik Lembek (°C)	SNI 06-2434-2011	≥48	Dilaporkan ⁽²⁾	
5.	Daktilitas pada 25°C, (cm)	SNI 06-2432-2011	≥100	-	
6.	Titik Nyala (°C)	SNI 06-2433-2011	≥232	≥230	
7.	Kelarutan dalam <i>Trichloroethylene</i> (%)	AASHTO T44-14	≥99	≥99	
8.	Berat Jenis	SNI-06-2441-2011	≥1,0	-	
9.	Stabilitas penyimpanan: Perbedaan Titik Lembek (°C)	ASTM D 5976-00 Part 6.1 dan SNI 2434:2011	-	≤2,2	
10.	Kadar Parafin Lilin (%)	SNI 03-3639-2002	≤2		
Pengujian Residu hasil TFOT (SNI-06-2440-1991) atau RTFOT (SNI-03-6835-2002):					
11.	Berat yang hilang (%)		≤0,8	≤0,8	
12.	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis (G*/sin) pada osilasi 10 rad/detik ≥2,2 kPa, (°C)		-	70	76
13.	Penetrasi pada 25°C (% semula)	SNI 2456:2011	≥54	≥54	≥54
14.	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	≥50	≥50	≥25
Residu aspal segar setelah PAV (SNI 03-6837-2002) pada temperature 100°C dan tekanan 2,1 Mpa					
15.	Temperatur yang menghasilkan	SNI 06-6442-2000	-	31	34

No.	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Tipe I Aspal Pen. 60-70	Tipe II Aspal Dimodifikasi	
				A	B
				PG70	PG76
	Geser Dinamis (G^*/\sin) pada osilasi 10 rad/detik \leq 5000 kPa, ($^{\circ}\text{C}$)				

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2

2.5.4 Gradasi Agregat Gabungan

Gradasi agregat gabungan adalah suatu konfigurasi butiran agregat dalam berbagai ukuran yang menghasilkan campuran agregat dengan berbagai fraksi agregat. Karakteristik proses pelaksanaan di lapangan dan laboratorium ditentukan oleh besar kecilnya rongga antar butir yang dipengaruhi oleh gradasi agregat (AMP).

Nilai gradasi agregat berdasarkan pada perbandingan berat agregat yang lolos atau tertahan saringan terhadap total berat agregat. Gradasi agregat dapat mempengaruhi besarnya rongga dalam campuran (yang nantinya akan diisi oleh aspal), *workability* (sifat mudah dikerjakan) dan stabilitas pada campuran. Gradasi agregat dapat dibedakan menjadi 3, yaitu:

1. Gradasi Senjang

Gradasi senjang adalah gradasi agregat dimana terdapat beberapa ukuran fraksi agregat tidak ada atau tidak lengkap. Hal ini menyebabkan gradasi ini bersifat porus atau memiliki permeabilitas yang tinggi karena ada beberapa rongga yang tidak bisa diisi oleh agregat.

2. Gradasi Seragam atau Terbuka

Gradasi seragam adalah gradasi agregat yang memiliki susunan ukuran butir agregat yang hampir sama. Disebut juga gradasi terbuka karena gradasi agregat ini hanya mengandung sedikit agregat halus sehingga banyak terdapat rongga antar agregat yang tidak bisa diisi karena ukuran agregat memiliki ukuran yang relatif sama. Hal ini menyebabkan gradasi agregat ini bersifat porus atau memiliki permeabilitas yang tinggi, stabilitas yang rendah dan berat isi yang rendah.

3. Gradasi Rapat atau Menerus

Gradasi rapat adalah gradasi agregat dimana ukuran butir agregat lengkap mulai dari agregat kasar sampai agregat halus sehingga gradasinya menerus. Gradasi jenis ini

merupakan jenis gradasi yang paling baik. Campuran agregat dengan gradasi rapat memiliki nilai stabilitas yang tinggi, cenderung kedap air dan memiliki berat isi yang besar.

Campuran Lataston *Hot Rolled Sheet (HRS)*, Lapis Pondasi (*HRS-Base*) merupakan jenis aspal beton campuran panas yang memiliki gradasi senjang dengan batas atas dan batas bawah seperti pada Tabel 2.4 amplop gradasi agregat gabungan untuk campuran beraspal dalam Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2.

Tabel 2.4 Amplop Gradasi Agregat Gabungan Untuk Campuran Beraspal

Ukuran Ayakan		% Berat Yang Lolos terhadap Total Agregat							
		Stone Matrix Asphalt (SMA)			Lataston (HRS)		Laston (AC)		
ASTM	(mm)	Tipis	Halus	Kasar	WC	Base	WC	BC	Base
1 ½"	37,5								100
1"	25			100				100	90 - 100
¾"	19		100	90 - 100	100	100	100	90 - 100	76 - 90
½"	12,5	100	90 - 100	50 - 88	90 - 100	90 - 100	90 - 100	75 - 90	60 - 78
3/8"	9,5	70 - 95	50 - 80	25 - 60	75 - 85	65 - 90	77 - 90	66 - 82	52 - 71
No.4	4,75	30 - 50	20 - 35	20 - 28			53 - 69	46 - 64	35 - 54
No.8	2,36	20 - 30	16 - 24	16 - 24	50 - 72	35 - 55	33 - 53	30 - 49	23 - 41
No.16	1,18	14 - 21					21 - 40	18 - 38	13 - 30
No.30	0,600	12 - 18			35 - 60	15 - 35	14 - 30	12 - 28	10 - 22
No.50	0,300	10 - 15					9 - 22	7 - 20	6 - 15
No.100	0,150						6 - 15	5 - 13	4 - 10
No.200	0,075	8 - 12	8 - 11	8 - 11	6 - 10	2 - 9	4 - 9	4 - 8	3 - 7

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2

2.6 Persyaratan Campuran Lataston (*HRS-Base*)

Campuran Lataston (*HRS-Base*) harus memenuhi nilai-nilai sifat campuran seperti tercantum dalam Tabel 2.5.

Tabel 2.5. Tabel Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Lataston

Sifat –Sifat Campuran		Lataston	
		Lapis Aus	Lapis Fondasi
Kadar aspal efektif (%)	Min.	5,9	5,5
Jumlah tumbukan per bidang		50	
Rongga dalam campuran (%)	Min.	3,0	
	Maks	5,0	
Rongga dalam agregat (VMA) (%)	Min.	17	17
Rongga terisi aspal (%)	Min.	68	
Stabilitas marshall (kg)	Min.	600	
Marshall Quotient (kg/mm)	Min.	250	
Stabilitas marshall sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C	Min.	90	

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2

Lataston (*HRS-Base*) mempunyai sifat-sifat campuran yaitu kadar aspal efektif nilai minimum 5,5%, jumlah tumbukan per bidang 2x50 tumbukan, rongga dalam campuran (*VIM*) minimum 3,0% dan maksimum 5,0%, rongga dalam agregat (*VMA*) nilai minimum 17%, rongga terisi aspal (*VFA*) nilai minimum 68%, nilai stabilitas *marshhall* 600 kg, *Marshall Quotient (MQ)* nilai minimum 250 kg/mm dan nilai minimum stabilitas marshall sisa yaitu 90%.

2.7 Rumus-Rumus Untuk Campuran Beraspal

1. Analisa Saringan

a. Persen Tertahan = $\frac{\text{Kumulatif berat tertahan saringan}}{\text{Berat awal}} \times 100 \dots\dots\dots(\text{Persamaan 2.1})$

b. Persen Lolos

Persen Lolos = 100 % - Komulatif persen tertahan tiap saringan..(Persamaan 2.2)

2. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

a. Berat Jenis kering (Bulk) = $\frac{B_k}{B_j - B_a} \dots\dots\dots(\text{Persamaan 2.3})$

b. Berat jenis jenuh kering permukaan (*SSD*) = $\frac{B_j}{B_j - B_a} \dots\dots\dots(\text{Persamaan 2.4})$

c. Berat jenis semu (Apperent) = $\frac{B_k}{B_k - B_a} \dots\dots\dots(\text{Persamaan 2.5})$

d. Penyerapan air = $\frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100 \%$ (Persamaan 2.6)

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)

3. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

a. Berat jenis kering (Bulk) = $\frac{B_k}{B_a + B_j + B_t}$ (Persamaan 2.7)

b. Berat jenis jenuh kering Permukaan (*SSD*) = $\frac{B_j}{B_a + B_j - B_t}$ (Persamaan 2.8)

c. Berat jenis semu (Apperent) = $\frac{B_k}{B_a + B_k - B_t}$ (Persamaan 2.9)

d. Penyerapan air = $\frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100 \%$ (Persamaan 2.10)

Dengan:

B_a = Berat piknometer + air (gram)

B_t = Berat piknometer + air + benda uji (gram)

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

$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{(P_1/G_1) + (P_2/G_2) + \dots + (P_n/G_n)}$ (Persamaan 2.11)

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).

5. Berat Jenis Semu (G_{sa})

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

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)

6. Berat Jenis Efektif Agregat Campuran (Gse)

$$Gse = \frac{100 - Pa}{(100/Gmm) - (Pa/Ga)} \dots\dots\dots(Persamaan 2.13)$$

Dengan:

Gse = Berat jenis dari agregat pembentuk beton aspal padat

Gmm = Berat jenis maksimum dari beton aspal

Pa = % aspal, persen dari berat total campuran

Ga = Berat jenis aspal

100 merupakan berat beton aspal yang belum dipadatkan (gram)

7. Berat Jenis Maksimum Campuran dengan Perbedaan Kadar Aspal (Gmm)

$$Gmm = \frac{100}{(Ps/Gse) + (Pa/Ga)} \dots\dots\dots(Persamaan 2.14)$$

Dengan :

Gmm = Berat jenis maksimum dari beton aspal yang belum dipadatkan

Ps = % agregat, persen dari berat total campuran

8. Berat Jenis Contoh Campuran Padat (Gmb)

$$Gmb = \frac{Bk}{Bssd + Ba} \dots\dots\dots(Persamaan 2.15)$$

9. Penyerapan Aspal (Pab)

$$Pab = 100 \times \frac{(Gse - Gsb)}{Gsb \times Gse} \times Ga \dots\dots\dots(Persamaan 2.16)$$

Dengan :

Pab = Kadar aspal yang terabsorpsi ke dalam pori butir agregat (%).

Gsb = Berat jenis bulk dari agregat pembentuk beton aspal padat.

10. Kadar Aspal Efektif yang Menyelimuti Agregat (Pae)

$$Pae = Pa - \frac{Pab}{100} \times Pa \dots\dots\dots(Persamaan 2.17)$$

Dengan :

Pae = kadar aspal efektif yang menyelimuti butir-butir agregat (%)

11. Kadar Aspal Tengah (Pb)

$$Pb = 0.035 (\% CA) + 0.045 (\% FA) + 0.18 (\% \text{ Filler}) + K \dots \dots \dots (\text{Persamaan 2.18})$$

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 = 1.0 – 2.0 untuk Lataston

12. Rumus *Filler* (P)

$$P = 100 \left\{ \frac{d}{D} \right\}^{0.45} \dots \dots \dots (\text{Persamaan 2.19})$$

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)

13. Keausan Agregat Kasar

$$\text{Keausan} = \frac{a-b}{a} \times 100\% \dots \dots \dots (\text{Persamaan 2.20})$$

Dengan:

a = Berat benda uji semula (gram)

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

2.8 Karateristik Campuran Aspal Beton

Hasil akhir suatu campuran beraspal akan ditebtukan oleh berbagai kriteria ataupun sifat yaitu stabilitas, durabilitas, fleksibilitas, tahanan geser, kedap air, kemudahan pekerjaan, dan ketahanan kelelahan.

1. Stabilitas

Stabilitas lapisan perkerasan jalan adalah kemampuan lapisanperkerasan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur, ataupun *bleeding*. Stabilitas terjadi dari hasil geseran antar butir, penguncian antara partikel dan daya ikat yang baik dari lapisan aspal. Dengan demikian stabilitas yang tinggi dapat diperoleh dengan mengusahakan penggunaan:

- a. Agregat dengan gradasi yang rapat (*dense graded*)
- b. Agregat dengan permukaan yang kasar
- c. Agregat berbentuk kubus
- d. Aspal dengan penetrasi rendah
- e. Aspal dalam jumlah yang mencukupi untuk ikatan antar butir

2. Durabilitas (Keawetan / Daya tahan)

Ini adalah kapasitas beton aspal untuk menahan keausan akibat faktor cuaca dan iklim seperti fluktuasi udara, air, dan suhu, serta beban lalu lintas yang konstan seperti berat kendaraan dan gesekan antara roda kendaraan dan permukaan jalan. Ketebalan lapisan aspal, jumlah pori-pori dalam campuran, kepadatannya, dan kedap air semuanya mempengaruhi berapa lama beton aspal dapat bertahan.

Agregat akan terbungkus dengan baik oleh lapisan aspal yang tebal sehingga membuat aspal beton lebih kedap air dan lebih tahan lama. Sebaliknya, pendarahan akan lebih mudah terjadi jika lapisan aspal lebih tebal sehingga membuat jalan semakin licin. Beton aspal kehilangan daya tahannya karena pori-pori lebar pada campuran yang tersisa setelah pemadatan. Lapisan aspal atau selimut aspal akan lebih mudah teroksidasi dengan udara sehingga menjadi rapuh dan kehilangan keawetannya, semakin lebar pori-pori sisa pada beton aspal maka semakin kurang kedap air dan semakin banyak udara yang terdapat pada beton aspal.

3. Fleksibilitas (kelenturan)

Fleksibilitas pada lapisan perkerasan adalah kemampuan lapisan untuk dapat mengikuti deformasi yang terjadi akibat beban lalu lintas berulang tanpa timbulnya retak dan perubahan volume. Fleksibilitas yang tinggi dapat diperoleh dengan:

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

4. Tahanan Geser (*Skid Resistance*)

Kekesatan/tahanan geser (*skid resistance*) adalah kemampuan permukaan beton aspal dalam menghasilkan gaya gesek pada roda, terutama pada kondisi lembab, untuk

mencegah mobil tergelincir atau tergelincir. Kekasaran permukaan butiran agregat, luas kontak antar butiran atau bentuk agregat, massa jenis campuran, dan ketebalan lapisan aspal merupakan unsur pendukung yang menentukan besarnya kekasaran jalan. Kekasaran permukaan juga ditentukan oleh ukuran maksimum butir agregat. Dalam hal ini, agregat yang digunakan harus tahan lama serta memiliki permukaan yang kasar agar permukaannya tidak cepat licin akibat penggunaan kendaraan berulang kali.

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.

6. Kemudahan Pekerjaan (*Workability*)

Mudah dilaksanakan adalah kemudahan penyebaran dan pemadatan campuran aspal beton. Tingkat efisiensi kerja ditentukan oleh seberapa sederhana penerapannya. Viskositas aspal dan sensitifitasnya terhadap fluktuasi suhu merupakan dua faktor yang mempengaruhi nyamannya proses penghamparan dan pemadatan.

7. Kedap Air (*Impermeability*)

Impermeability adalah Untuk mencegah kerusakan air pada lapisan perkerasan di bawahnya, yang dapat menyebabkan campuran kehilangan kekuatan dan kemampuannya dalam menahan tekanan lalu lintas, maka campuran aspal harus kedap air.

2.9 Metode *Marshall*

Metode *Marshall Test* dibuat oleh insinyur bahan aspal Bruce Marshall dan Departemen Jalan Raya Negara Bagian Mississippi. Setelah itu, pada tahun 1948, Korps Teknik Angkatan Darat A.S. menghasilkan kriteria desain campuran uji, yang kemudian

distandarisasi dalam American Society for Testing and Materials 1989 (ASTM d-1559). Korps Teknik Angkatan Darat juga menyempurnakan dan menambahkan kriteria tambahan pada proses pengujiannya. Sejak itu, banyak pemerintah dan organisasi telah menerapkan tes ini secara luas.

Pengujian ini menghasilkan dua hasil utama: Stabilitas Marshall, atau gaya terbesar yang dapat ditahan oleh beton aspal padat sebelum hancur, dan Aliran Marshall, atau jumlah total deformasi sampel sebelum hancur. Selain itu, nilai kekakuan yang dikembangkan, atau kekakuan semu, merupakan turunan dari keduanya dan menunjukkan ketahanan campuran terhadap deformasi jangka panjang (Shell Bitumen, 1990). Faktor penting yang perlu dipertimbangkan adalah analisis rongga, yang mencakup rongga dalam agregat mineral (VMA), rongga dalam campuran (VIM), dan rongga berisi aspal (VFA). Parameter ini dihitung menggunakan kondisi Marshall normal, yang melibatkan dua tumbukan setiap 50, dan kepadatan absolut Marshall, yang melibatkan dua tumbukan per 400. Alat *Marshall* dilengkapi dengan *proving ring* (cincin penguji) berkapasitas 22,2 KN (5000 lbf) dan *flow meter*. *Proving ring* digunakan untuk mengukur nilai stabilitas sedangkan *flow meter* berfungsi mengukur kelelahan plastis atau *flow*. Benda uji *Marshall* berbentuk silinder berdiameter 4 inci (10,2 cm) tinggi 2,5 inci (6,35 cm).

Secara garis besar pengujian *Marshall* meliputi: persiapan benda uji, penentuan berat jenis bulk dari benda uji, pemeriksaan nilai stabilitas, dan *flow*, dan perhitungan sifat volumetric benda uji.

1. Pada persiapan benda uji, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan antara lain:

- a) Jumlah benda uji yang disiapkan.
- b) Persiapan agregat yang akan digunakan.
- c) Penentuan temperatur pencampuran dan pemadatan.
- d) Persiapan campuran aspal beton.
- e) Pemadatan benda uji.
- f) Persiapan untuk pengujian *Marshall*.

2. Penentuan benda uji bulk dari benda uji

Penentuan berat jenis bulk dari benda uji beton aspal padat yang dilakukan segera setelah benda uji dingin dan mencapai suhu ruang.

3. Pemeriksaan nilai stabilitas dan flow

Pemeriksaan stabilitas diperlukan untuk mengukur ketahanan benda uji terhadap beban. Dan flowmeter mengukur besarnya deformasi yang terjadi akibat beban. Untuk mendapat temperatur benda uji sesuai dengan temperatur terpanas di lapangan, maka sebelum dilakukan pemeriksaan benda uji dipanaskan terlebih dahulu selama 30 menit dengan temperatur 60°C di dalam waterbath. Pengukuran dilakukan dengan menempatkan benda uji pada alat Marshall, dan beban diberikan kepada benda uji dengan kecepatan 2 inch/menit. Beban pada saat terjadi keruntuhan dibaca pada arloji pengukur dari proving ring, deformasi yang terjadi pada saat itu merupakan nilai *flow* yang dapat dibaca pada *flow*-meter. Nilai stabilitas merupakan nilai arloji pengukur dikalikan dengan nilai kalibrasi proving ring, dan dikoreksi dengan angka koreksi akibat ketinggian benda uji.

4. Perhitungan sifat volumetrik benda uji

Setelah uji Marshall dilakukan, maka dilanjutkan dengan perhitungan untuk menentukan:

- a) Kousien Marshall, adalah rasio antara nilai stabilitas dan kelelahan
- b) Berat volume benda uji
- c) Volume pori dalam benda uji (*VIM*)
- d) Volume pori antara agregat dalam benda uji (*VMA*)
- e) Volume antara agregat yang terisi oleh aspal (*VFA*)
- f) Tebal selimut aspal

2.9 Karakteristik Marshall

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

1. Kepadatan (*Density*)

Kepadatan (*density*) adalah kepadatan campuran saat dipadatkan. Kepadatan suatu campuran meningkat seiring dengan meningkatnya nilai kepadatan. Nilai densitas dipengaruhi oleh beberapa variabel, antara lain gradasi campuran, jenis dan kaliber bahan penyusunnya, parameter pemadatan seperti suhu dan jumlah pemadatan, jumlah aspal yang digunakan, serta penambahan bahan aditif pada campuran. Karena butiran agregat mempunyai luas permukaan lebih besar dan gaya gesek antar butiran agregat lebih besar,

maka kombinasi dengan nilai densitas tinggi dapat menahan beban lebih besar dibandingkan campuran dengan nilai densitas rendah. Kekedapan juga berdampak pada impermeabilitas campuran; semakin kedap suatu campuran terhadap udara dan air, maka semakin besar pula impermeabilitasnya. Persamaan berikut dapat digunakan untuk mendapatkan nilai densitas.

$$g = \frac{c}{f} \dots \dots \dots \text{(Persamaan 2.21)}$$

$$f = d - e \dots \dots \dots \text{(Persamaan 2.22)}$$

Keterangan:

- g = Nilai *Density*
- c = Berat benda uji sebelum direndam (gr)
- d = Berat benda uji jenuh air (gr)
- e = Volume berat uji di dalam air (gr)
- f = Volume benda uji (cm³)

2. Stabilitas (*Stability*)

Stabilitas adalah ketahanan lapisan keras terhadap deformasi yang disebabkan oleh beban lalu lintas tanpa mengalami perubahan morfologi jangka panjang seperti alur dan gelombang (*was boarding*). Bentuk, kualitas, kekasaran permukaan, dan gradasi agregat—yaitu gesekan internal dan interlocking, kohesifitas, serta jumlah aspal dalam campuran—berpengaruh pada nilai stabilitas. Nilai kestabilan campuran akan tergantung pada seberapa banyak aspal yang digunakan di dalamnya. Nilai kestabilan campuran aspal akan meningkat secara maksimal seiring bertambahnya jumlah aspal yang ditambahkan. Penambahan aspal yang berlebihan justru akan menyebabkan kestabilan campuran menurun sehingga mengakibatkan lapisan perkerasan menjadi kaku dan rapuh. Fleksibilitas lapisan perkerasan yang dihasilkan ditentukan oleh nilai stabilitasnya. Untuk campuran Lataston HRS-Base, diperlukan nilai stabilitas lebih dari 600 kg. Karena perkerasan lunak kurang mampu menahan beban, maka lapisan perkerasan dengan stabilitas kurang dari 600 kg lebih besar kemungkinannya untuk cepat rusak. Sebaliknya jika stabilitas perkerasan sangat tinggi maka kekakuan perkerasan akan menyebabkan perkerasan mudah patah. Tabel 2.6 menampilkan nilai faktor koreksi stabilitas.

$$S = p \times q \dots\dots\dots(Persamaan 2.23)$$

Keterangan:

S : Nilai stabilitas, (kg)

p : Pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat

q : Angka koreksi tebal benda uji

Tabel 2.6 Faktor Koreksi Stabilitas

Isi Benda Uji (cm ³)	Tebal Benda Uji (mm)	Angka Koreksi
200-213	25,4	5,66
214-225	27,0	5,00
226-237	28,6	4,55
238-250	30,2	4,17
251-264	31,8	3,85
265-276	33,3	3,57
277-289	34,9	3,33
290-301	36,5	3,03
302-315	38,1	2,78
317-328	39,7	2,50
329-340	41,3	2,27
341-353	42,9	2,08
354-367	44,4	1,92
368-379	46,0	1,79
380-392	47,6	1,67
393-405	49,2	1,56
406-420	50,8	1,47
421-431	52,4	1,39
432-443	54,0	1,32
444-456	55,6	1,25
457-470	57,2	1,19
471-482	58,7	1,14
483-495	60,3	1,09
496-508	61,9	1,04
509-522	63,5	1,00
523-535	65,1	0,96
536-546	66,7	0,93
547-559	68,3	0,89

Isi Benda Uji (cm ³)	Tebal Benda Uji (mm)	Angka Koreksi
560-573	69,9	0,86
574-585	71,4	0,83
586-598	73,0	0,81
599-610	74,6	0,78
611-625	76,2	0,76

Sumber: SNI 06-2489-1991

3. 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. Berkurangnya ketahanan merupakan akibat dari deformasi vertikal awal benda uji, yang menggambarkan besarnya deformasi pada lapisan perkerasan akibat beban yang harus ditahannya. Ada hubungan erat antara deformasi dan sifat Marshall lainnya, termasuk stabilitas, *VIM*, dan *VFA*. Nilai *VIM* yang tinggi menyebabkan deformasi dan penurunan tahanan *interlocking* campuran. Selain itu, aspal dalam kombinasi tersebut menjadi pelumas *rock-to-rock* karena nilai *VFA* yang berlebihan. Besaran gradasi agregat, temperatur pemadatan, viskositas aspal, dan komposisi semuanya mempengaruhi nilai aliran.

Campuran dengan nilai aliran yang tinggi akan menghasilkan lapisan perkerasan yang plastis, sehingga perkerasan mudah mengalami perubahan bentuk seperti gelombang (*washbording*) dan alur (*rutting*). Sebaliknya, campuran dengan nilai aliran yang rendah akan membuat campuran menjadi kaku sehingga menyebabkan lapisan perkerasan mudah retak.

4. *Void in the Mineral Aggregate (VMA)*

Void in the Mineral Aggregate (VMA) adalah ruang udara di antara butiran agregat aspal padat, yang terdiri dari ruang-ruang tersebut serta kandungan aspal efektif, dinyatakan dalam persentase volume. Jumlah rongga udara dalam campuran mempengaruhi kinerjanya karena terlalu sedikit VMA dapat menyebabkan masalah daya tahan dan terlalu banyak VMA dapat mengakibatkan masalah stabilitas dan membuat kombinasi tidak dapat dibuat. Parameter pemadatan seperti temperatur, gradasi agregat, dan kadar aspal berpengaruh terhadap nilai VMA. Baik karakteristik elastis campuran maupun impermeabilitasnya terhadap udara dan udara dipengaruhi oleh nilai VMA II - 22 ini. Bisa juga dikatakan bahwa daya tahan, kenyamanan, dan stabilitas ditentukan oleh nilai VMA. Nilai VMA yang diisyaratkan adalah minimum 15%.

$$VMA=100 \frac{(Gsb-Gmb) + Gmb \cdot Ps}{Gsb} \dots\dots\dots(Persamaan 2.24)$$

Keterangan:

VMA : Rongga udara pada mineral agregat, (%)

Gmb : Berat jenis bulk campuran setelah pemadatan, (gr/cc)

Gsb : Berat jenis bulk dari total agregat, (gr/cc)

Ps : Persentase kadar agregat terhadap berat total campuran, (%)

5. *Void in the Mix (VIM)*

Void in Mix (VIM) merupakan proporsi kekosongan di seluruh campuran. Ketahanan lapisan perkerasan dipengaruhi oleh nilai VIM; semakin besar nilainya maka semakin lebar pula rongga-rongga pada campuran yang menandakan bahwa campuran tersebut berpori. Akibatnya campuran menjadi kurang padat sehingga memudahkan udara dan air masuk ke dalam rongga. Hal ini memungkinkan aspal teroksidasi lebih cepat, yang pada akhirnya mengurangi daya rekat antar butiran agregat dan menyebabkan lapisan perkerasan terkelupas di permukaan sehingga menyebabkan butiran terlepas (reveling).

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. Nilai VIM dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$VIM = \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \times 100 \dots\dots\dots(\text{Persamaan 2.25})$$

Keterangan:

VIM: Rongga udara pada campuran, (%)

G_{mm} :Berat jenis campuran maksimum setelah pemadatan,(gr/cc)

G_{mb} : Berat jenis bulk campuran setelah pemadatan (gr/cc)

6. *Void Filled With Asphalt (VFA)*

VFA (*Void Filled with Asphalt*) merupakan persentase rongga terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan. Nilai VFA dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$VFA = \frac{(VMA - VIM)}{VMA} \times 100 \dots\dots\dots(\text{Persamaan 2.26})$$

Keterangan:

VFA: Persentase rongga udara yang terisi aspal, (%)

VMA: Persentase rongga udara pada mineral agregat, (%)

VIM: Persentase rongga udara pada campuran, (%)

7. *Marshall Quotient (MQ)*

Marshall Quotient (MQ) merupakan hasil bagi antara stabilitas dengan *flow*. Berikut adalah rumus untuk mencari nilai *marshall quotient*:

$$MQ = \frac{S}{F} \dots\dots\dots(\text{Persamaan 2.27})$$

Keterangan:

MQ: Nilai *marshall quotient*, (kg/mm)

S : Nilai stabilitas, (kg)

F: Nilai *flow*, (mm)

2.11 Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Parameter *Marshall*

1. Hubungan Kadar Aspal dengan Stabilitas (*Stability*)

Stabilitas merupakan ketahanan lapisan keras terhadap deformasi yang disebabkan oleh beban lalu lintas tanpa mengalami perubahan morfologi jangka panjang seperti alur dan gelombang (*was boarding*). Nilai kestabilan campuran akan tergantung pada seberapa banyak aspal yang digunakan di dalamnya. Nilai kestabilan campuran aspal akan meningkat secara maksimal seiring dengan bertambahnya jumlah aspal. Peningkatan nilai kestabilan disebabkan karena semakin banyak aspal yang menutupi agregat sehingga meningkatkan kepadatan dan kohesi campuran (*daya ikat aspal*) serta *interlocking* antar agregat. Untuk campuran *Lataston HRS-Base*, diperlukan nilai stabilitas lebih dari 600 kg. Aspal yang semula berfungsi sebagai pengikat agregat, setelah mencapai batas optimal berubah peranannya menjadi pelumas (*bleeding*), sehingga menurunkan nilai kestabilan kombinasi tersebut.

2. Hubungan Kadar Aspal dengan Kelelahan (*Flow*)

Kelelahan (*flow*) adalah berkurangnya ketahanan merupakan akibat dari deformasi vertikal awal benda uji, yang menggambarkan besarnya deformasi pada lapisan perkerasan akibat beban yang harus ditahannya. Jumlah aspal mempengaruhi nilai aliran. Nilai aliran juga akan tinggi jika kadar aspalnya tinggi. Hal ini akan menghasilkan lapisan perkerasan plastis sehingga memudahkan perkerasan mengalami perubahan bentuk seperti *rutting* dan *washboarding*. Sebaliknya, nilai aliran yang rendah akan membuat campuran menjadi kaku sehingga lapisan perkerasan lebih rentan retak.

3. Hubungan Kadar Aspal dengan *Marshall Quotient (MQ)*

Marshall Quotient (MQ) merupakan produk aliran dan stabilitas. Secara umum, fleksibilitas campuran akan dipengaruhi oleh peningkatan jumlah aspal. Nilai aliran berbanding terbalik dengan nilai *Marshall Quotient*, namun nilai stabilitas berbanding lurus dengannya. Nilai *MQ* akan bertambah jika nilai kestabilan tinggi dan nilai aliran rendah, dan akan menurun jika nilai kestabilan rendah dan nilai aliran tinggi. Campuran dengan angka leleh rendah dan stabilitas tinggi biasanya rapuh dan kaku. Sebaliknya, campuran dengan stabilitas rendah dan laju leleh yang cepat biasanya bersifat plastis dan mudah berubah bentuk karena beban lalu lintas.

4. Hubungan Kadar Aspal dengan *Void in the Mineral Aggregate (VMA)*

Void in the Mineral Aggregate (VMA) adalah ruang udara di antara butiran agregat aspal padat, yang terdiri dari ruang-ruang tersebut serta kandungan aspal efektif, dinyatakan dalam persentase volume. Kandungan campuran aspal dipengaruhi oleh VMA, atau rongga udara antar partikel. Semakin banyak jumlah aspal dalam agregat maka semakin banyak aspal yang mengisi celah-celah dalam agregat sehingga menyebabkan nilai VMA otomatis turun. Nilai VMA kemudian naik setelah melampaui kadar aspal ideal. Hal ini disebabkan karena adanya jarak antar agregat yang semakin besar akibat lapisan aspal yang menutupinya semakin tebal. Nilai VMA yang terlalu tinggi dikombinasikan dengan komposisi aspal yang tinggi dapat membuat lapisan perkerasan menjadi fleksibel.

5. Hubungan Kadar Aspal dengan *Void in the Mix (VIM)*

Void in Mix (VIM) merupakan proporsi kekosongan di seluruh campuran. Banyaknya aspal pada campuran aspal yang dipanaskan mempengaruhi nilai rongga campuran. Jumlah aspal yang mengisi ruang antar butiran agregat meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi aspal, sehingga mengakibatkan penurunan volume rongga udara dalam campuran. Meskipun demikian, ruang udara campuran meningkat seiring dengan menurunnya kandungan aspal. Pelelehan akan terjadi lebih cepat dengan VIM yang tinggi dan konsentrasi aspal yang rendah.

6. Hubungan Kadar Aspal dengan *Void Filled With Asphalt (VFA)*

VFA (Void Filled with Asphalt) merupakan persentase rongga terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan. Kadar aspal berpengaruh pada nilai *VFA*. Semakin tinggi kadar aspal maka nilai *VFA* juga semakin tinggi. Hal ini bertujuan agar aspal yang datang dapat tertampung oleh ruang antar butiran agregat yang masih besar. Lebih banyak aspal ditambahkan ke ruang udara untuk meningkatkan proporsi aspal di rongga, seiring dengan meningkatnya persentase kandungan aspal.

7. Hubungan Kadar Aspal dengan *Kepadatan (Density)*

Density merupakan tingkat kerapatan campuran setelah dipadatkan. Semakin tinggi nilai *density* suatu campuran menunjukkan bahwa kerapatannya semakin baik. Hubungan antara kadar aspal dengan kepadatan (*density*) sangat berpengaruh. Dalam hal ini, semakin

besar kadar aspal maka semakin besar kepadatan yang terjadi, Namun bila jumlah kadar aspal yang diberikan melebihi, maka campuran akan bersifat plastis dan lentur sehingga campuran dengan mudah berubah bentuk dan terjadi *bleeding*.

2.12 Pemadatan

Pemadatan adalah proses pemampatan untuk memperoleh kekuatan dan stabilitas serta rongga yang cukup pada campuran aspal, sehingga sudah tidak banyak berdeformasi lagi akibat repetisi beban.

1. Pemadatan Laboratorium

Untuk perancangan campuran di laboratorium, proses pemadatan disimulasikan dengan membebani campuran di dalam cetakan (*mold*). Cetakan berupa silinder baja berdiameter 10,16 cm atau 4 inchi dan tinggi 7,62 cm atau 3 inchi. Pengujian campuran aspal di laboratorium dengan menggunakan metode *Marshall*, proses pemadatan dilakukan dengan menggunakan alat penumbuk *marshall* manual (*Manual Marshall Compact*) seberat 10 pound atau 4,54 kg yang dijatuhkan dengan tinggi jatuh sekitar 18 inchi atau 457 mm. Tabel 2.7 menunjukkan batasan jumlah tumbukan yang dilakukan untuk setiap sisi benda uji terhadap jenis campuran.

Tabel 2.7 Batasan Jumlah Tumbukan Pada Campuran Beraspal

	SMA	Lataston		Laston		
	Tipis, Halus, dan Kasar	Lapis Aus	Lapis Fondasi	Lapis Aus	Lapis Antara	Lapis Pondasi
Jumlah tumbukan perbidang	50	50	50	75	75	112

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2

2. Pemadatan Lapangan

Proses pemadatan di lapangan dilakukan dengan menggunakan *tandem roller* dengan kondisi campuran aspal terhampar tanpa terkekang *mold*. Pemadatan dengan *tandem roller* juga bervariasi, ada yang menggunakan roda baja, roda karet, dan roda baja yang dilengkapi dengan vibrator untuk memberikan efek pembebanan dinamis pada lapis perkerasan aspal. Berbeda dengan pemadatan yang dilakukan di laboratorium, pemadatan di lapangan dilakukan atas dasar *trial error*, artinya dengan melakukan uji coba dengan melakukan beberapa lintasan dan di test dengan cara *core drill* lalu diuji di laboratorium.

Sehingga dapat diketahui efeknya dengan melakukan beberapa kali melakukan lintasan dengan besar dan tipe pembebanan tertentu di atas hamparan aspal dapat menghasilkan kepadatan berapa. Pemadatan di lapangan dilakukan dalam tiga operasi yang terpisah (Spesifikasi Umum 2018, Revisi 2), yaitu:

a) Pemadatan Awal

Pemadatan awal harus dilaksanakan baik dengan alat pemadat roda baja. Pemadatan awal harus dioperasikan dengan roda penggerak berada di dekat alat penghampar. Setiap titik perkerasan harus menerima minimum dua lintasan (satu kali pulang pergi) penggilasan awal.

b) Pemadatan Antara

Pemadatan kedua atau antara harus dilaksanakan dengan alat pemadat roda karet sedekat mungkin di belakang penggilasan awal. Pemadatan kedua atau pemadatan utama ini memberikan kepadatan yang disyaratkan, bersifat meremas, dimana butir-butir besar akan tertekan ke bawah dan butir-butir halus akan tertekan naik, memperkecil ronggarongga di permukaan, memperkedap permukaan, menstabilkan kedudukan batuan dan membentuk ketahanan lapisan terhadap roda-roda kendaraan yang akan merusak lapisan permukaan. Pada umumnya untuk pemadatan antara dilakukan 10-16 lintasan.

c) Pemadatan Akhir

Pemadatan akhir berfungsi untuk menghilangkan gelombang-gelombang di permukaan akibat roda karet *Pneumatic Tyre Roller* yang berat. Pada umumnya untuk pemadatan akhir dilakukan 1- 2 lintasan.

2.13 Pengaruh Variasi Tumbukan/ Pemadatan dengan Parameter *Marshall*

1. Pengaruh Tumbukan dengan 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 jumlah tumbukan. Apabila jumlah tumbukan sedikit maka stabilitas juga rendah, kerapatan campuran berkurang sehingga bidang kontak antar agregat rendah dan agregat tidak saling mengunci dengan baik atau *interlocking* antar butir agregat berkurang sehingga

mengakibatkan gelombang dan alur. Apabila jumlah tumbukan banyak maka kerapatan campuran semakin lebih baik dan agregat dalam campuran saling mengunci dengan baik sehingga tidak dengan mudah terjadi gelombang (*was boarding*) dan alur (*rutting*).

2. Pengaruh Tumbukan dengan Kelelahan (*Flow*)

Kelelahan (*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. Jumlah pemadatan atau tumbukan merupakan faktor yang mempengaruhi nilai *flow*. Jika campuran dikurangi jumlah tumbukan maka nilai *flow* akan mengalami peningkatan. Hal ini mengakibatkan kerapatan campuran berkurang dan banyak terdapat rongga sehingga campuran akan mudah mengalami perubahan seperti gelombang (*washboarding*) yang mampu mengikuti deformasi akibat beban. Nilai *flow* yang rendah pada suatu campuran akan mengakibatkan campuran menjadi kaku sehingga lapis perkerasan akan mudah mengalami retak.

3. Pengaruh Tumbukan dengan *Marshall Quotient (MQ)*

Marshall Quotient (MQ) merupakan hasil bagi antara stabilitas dengan *flow*. Nilai *Marshall Quotient* berbanding lurus dengan nilai stabilitas namun berbanding terbalik dengan nilai *flow*, apabila nilai stabilitas tinggi tapi nilai *flow* rendah maka akan menyebabkan nilai *MQ* semakin tinggi, namun apabila nilai stabilitas rendah dan nilai *flow* tinggi maka akan menyebabkan nilai *MQ* menjadi semakin rendah.

Besarnya nilai *MQ* tergantung dari besarnya nilai stabilitas yang dipengaruhi oleh gesekan antar butiran dan *interlocking* yang terjadi antar butiran agregat dan kohesi bahan susun, serta nilai *flow*. Jumlah tumbukan juga salah satu faktor yang mempengaruhi nilai *MQ*. Campuran yang dipadatkan dengan sedikit jumlah tumbukan, cenderung memiliki *MQ* rendah, maka campuran beraspal panas akan semakin fleksibel, cenderung menjadi plastis dan lentur sehingga mudah mengalami perubahan bentuk pada saat menerima beban lalu lintas yang tinggi. Sedangkan campuran yang dipadatkan dengan banyak jumlah tumbukan, cenderung memiliki nilai *MQ* tinggi, menyebabkan campuran beraspal panas akan kaku sehingga mudah terjadi retak.

4. Pengaruh Tumbukan dengan *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. Besarnya nilai *VMA* dipengaruhi oleh kadar aspal, gradasi bahan susun, jumlah tumbukan dan temperatur pemadatan. Pada jumlah tumbukan sedikit, nilai *VMA* tinggi disebabkan banyak rongga udara antar butir agregat yang masih terbentuk ketika campuran dipadatkan dengan jumlah tumbukan sedikit dimana campuran tidak dapat mengikat dengan baik. Pada jumlah tumbukan banyak, nilai *VMA* menjadi kecil. Hal ini dikarenakan campuran menjadi lebih rapat atau rongga udara antar butir agregat menjadi makin kecil dan makin sedikit sebab aspal mampu mengisi lebih banyak rongga-rongga yang ada.

5. Pengaruh Tumbukan dengan *Void in Mix (VIM)*

Void in Mix (VIM) merupakan persentase rongga yang terdapat dalam total campuran. Jumlah tumbukan juga sangat berpengaruh terhadap nilai *VIM*. Apabila campuran beraspal dipadatkan pada dengan jumlah tumbukan sedikit maka banyak rongga yang masih terbentuk dalam campuran sehingga nilai *VIM* tinggi dikarenakan kerapatan campuran berkurang. Namun, pada jumlah tumbukan banyak, nilai *VIM* menjadi rendah sehinggah campuran mampu melekat dengan rapat dan dengan sendirinya rongga dalam campuran berkurang dan kerapatan campuran bertambah.

6. Pengaruh Tumbukan dengan *Void Filled With Asphalt (VFA)*

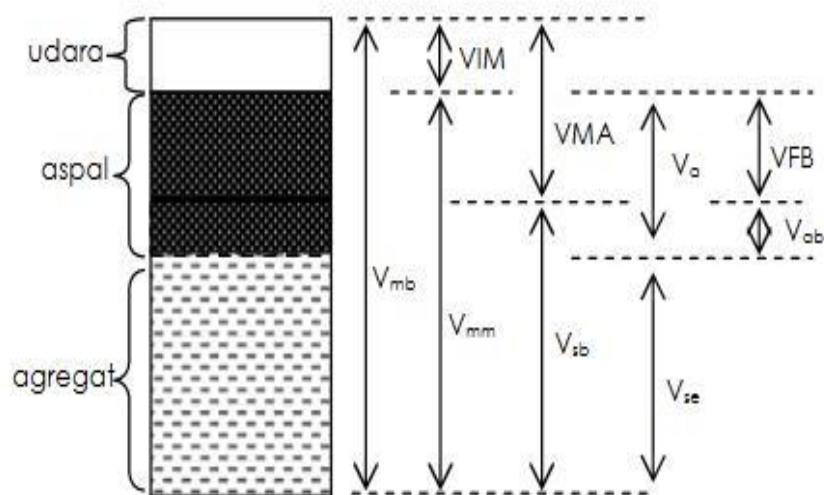
VFA (Void Filled with Asphalt) merupakan persentase rongga terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan. Besarnya nilai *VFA* menentukan keawetan suatu campuran beraspal panas, semakin besar nilai *VFA* akan menunjukkan semakin kecil nilai *VIM* yang berarti rongga terisi aspal semakin banyak, oleh karena itu campuran beraspal akan semakin awet. Nilai *VFA* yang tinggi berarti semakin banyak rongga dalam campuran yang terisi aspal sehingga kedapannya terhadap air dan udara juga tinggi. Akan tetapi nilai *VFA* yang terlalu tinggi mengakibatkan *bleeding*. Nilai *VFA* yang rendah menyebabkan campuran kurang kedap terhadap air dan udara karena film aspal menjadi tipis dan mudah retak.

7. Pengaruh Tumbukan dengan Kepadatan (*Density*)

Density merupakan tingkat kerapatan campuran setelah dipadatkan. Semakin tinggi nilai *density* suatu campuran menunjukkan bahwa kerapatannya semakin baik. Karena butiran agregat memiliki permukaan kontak yang besar dan gesekan antar butiran yang lebih besar, maka kombinasi dengan nilai kepadatan yang tinggi dapat memikul beban yang lebih besar dibandingkan campuran dengan kepadatan yang rendah. Selain itu, impermeabilitas campuran dipengaruhi oleh kepadatan; semakin kedap suatu campuran terhadap udara dan air, maka semakin besar pula impermeabilitasnya. Jika jumlah tumbukan sedikit maka campuran aspal akan mengalami penurunan nilai kepadatan. Hal ini akan menyebabkan rongga udara dalam campuran aspal lebih terbuka sehingga bisa terjadi alur.

2.14 Volumetrik Campuran Beraspal

Volume volumetrik suatu campuran aspal dalam keadaan padat, yang terdiri dari rongga berisi aspal (VFA), rongga udara dalam campuran (VIM), dan rongga udara antar agregat (VMA), merupakan faktor utama dalam menentukan kinerja campuran. Gambar 2.2 menggambarkan volumetrik campuran aspal.



Gambar 2.2 Volumetrik Campuran Beraspal

Sumber: Sukirman, S. (2003)

Keterangan :

VIM = Volume rongga udara dalam campuran

VMA = Volume rongga di antara mineral agregat

VFB = Volume rongga terisi aspal

Vab = Volume aspal yang diserap agregat

Vb = Volume aspal

Vmb = Volume *bulk*/curah campuran padat

Vmm = Volume campuran tanpa rongga udara

Vsb = Volume agregat (berdasarkan berat jenis *bulk*/curah)

Vse = Volume agregat (berdasarkan berat jenis efektif)

2.15 Karakteristik Material *Quarry* Pariti.

Quarry Pariti merupakan salah satu sumber material lokal yang sering digunakan untuk pekerjaan-pekerjaan jalan di beberapa jalan di Kota Kupang dan Kabupaten Kupang, lokasi penambangan terletak di Desa Pariti Kecamatan Sulamu. Material yang diproduksi oleh *Quarry* Pariti ini sudah banyak digunakan, sesuai pengalaman lapangan bahwa ketersediaan bahan material yang terdapat adalah Batu Pecah dan Abu Batu dengan variasi ukuran butiran yang berbeda-beda sesuai fraksi masing-masing.

2.16 Standar Rujukan

Standar Nasional Indonesia (SNI) :

- SNI ASTM C136:2012 : Metode uji untuk analisis saringan agregat halus dan agregat kasar (ASTM C136-06, ID).
- SNI 1969:2016 : Cara uji berat jenis dan penyerapan air agregat kasar.
- SNI 1970:2016 : Cara uji berat jenis dan penyerapan air agregat halus.
- SNI 03-6819-2002 : Spesifikasi agregat halus untuk campuran perkerasan beraspal
- SNI 2417:2008 : Cara uji keausan agregat dengan mesin abrasi *Los Angeles*
- SNI 2432:2011 : Cara uji daktilitas aspal
- SNI 06-2489-1991 : Pengujian campuran beraspal dengan alat *Marshall*
- SNI 03-6723-2002 : Spesifikasi bahan pengisi untuk campuran beraspal.
- SNI 2433:2011 : Cara uji titik nyala dan titik bakar aspal dengan alat *Eleveland*

Open Cup.

SNI 2456:2011

: Cara uji penetrasi aspal

SNI 03-6894-2002

: Metode pengujian kadar aspal dan campuran beraspal dengan cara sentrifus.