

BAB III LANDASAN TEORI

A. Lapis Permukaan (*Surfae Course*)

Pada umumnya lapisan permukaan dibuat dengan menggunakan aspal sebagai bahan pengikat sehingga menghasilkan lapisan kedap air dengan stabilitas tinggi dan daya tahan selama masa pelayanan. Lapis paling atas yang kontak langsung dengan roda kendaraan, cepat menjadi aus dan rusak karena berhubungan langsung dengan perubahan cuaca. Serangan air ke dalam lapis permukaan akan mengurangi kekuatan mekanis bahan dan mengurangi umur rencana. Untuk tujuan pelapisan tambah maka dibawah lapis permukaan harus dihampar lapis perata (Departemen Pekerjaan Umum, 1999 dalam buku Teknologi Perkerasan Jalan untuk Lalu Lintas Berat dan Padat).

Lapis permukaan dapat dibedakan menjadi :

1. Lapis aus (*wearing course*), merupakan lapis permukaan yang kontak langsung dengan roda kendaraan dan cuaca, dan berfungsi non struktural.
2. Lapis pengikat (*binder course*), merupakan lapis permukaan yang terletak dibawah lapis aus, dan berfungsi struktural.

Di Indonesia lapis aus dapat merupakan salah satu dari :

1. Burtu (laburan aspal satu lapis), merupakan lapis penutup yang terdiri dari lapis aspal yang ditaburi dengan satu lapis agregat bergradasi seragam, dengan tebal maksimum 2 cm.
2. Burda (laburan aspal dua lapis), merupakan lapis penutup yang terdiri dari lapis aspal ditaburi agregat, dikerjakan dua kali secara berurutan dengan tebal padat maksimum 3,5 cm.
3. Latasir (lapis tipis aspal pasir), merupakan lapis penutup yang terdiri dari campuran aspal dan pasir alam bergradasi menerus, dicampur, dihampar dan dipadatkan pada suhu tertentu dengan tebal padat 1-2 cm.
4. Buras (laburan aspal), merupakan lapis penutup terdiri dari lapis aspal bertabur pasir dengan ukuran butir maksimum $3/8$ inch.

5. Latasbum (lapis tipis asbuton murni), merupakan lapis penutup yang terdiri dari campuran asbuton dan bahan pelunak dengan perbandingan tertentu, dicampur dalam keadaan dingin, dengan tebal pada maksimum 1 cm.

Sesuai dengan fungsinya maka perkerasan jalan harus dibuat dengan kualitas bahan perkerasan yang lebih baik dari pada tanah dasar. Kualitas bahan untuk masing-masing lapisan berbeda. Semakin ke atas permukaan jalan mempunyai kualitas yang semakin baik dan juga semakin mahal.

B. Bahan penyusun HRS-WC

Pada prinsipnya bahan penyusun suatu perkerasan lentur adalah agregat, aspal, *filler* dan zat aditif. Bahan-bahan dasar tersebut harus memenuhi kriteria standar yang telah ditetapkan oleh SNI 03-1737-1989. Hal ini dimaksudkan untuk menghindari adanya kegagalan konstruksi yang disebabkan oleh bahan penyusun perkerasan.

1. Agregat

Agregat merupakan komponen pendukung utama dari lapisan perkerasan jalan yang mendukung 90 % - 95 % agregat berdasarkan presentasi berat atau 75 % - 85 % agregat berdasarkan presentase volume. Dengan demikian pengaruh sifat agregat terhadap kinerja (*performance*) dari campuran sangat besar, oleh sebab itu agregat harus memnuhi standart persyaratan yang ditentukan.

Agregat yang digunakan dalam lapisan HRS-WC adalah agregat dengan gradasi senjang. Persyaratan agregat HRS-WC telah disesuaikan dengan Spesifikasi umum Bina Marga 2010 (revisi 2), yang ditunjukkan dalam persen lolos terhadap berat agregat. Untuk campuran HRS-WC disyaratkan agar minimum 80% lolos saringan saringan No.8 harus juga lolos saringan no.30 Spesifikasi tersebut dapat dilihat dalam Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Spesifikasi pengujian agregat kasar dan agregat halus

No	Jenis Pemeriksaan	Standar Rujukan	Persyaratan		Satuan
			Agregat kasar	Agregat halus	
1.	Keausan agregat	SNI 03-2417-1991	Maks 40		%
2.	Berat jenis semu	SNI 03-1969-1990 ^[14] SNI 03-1970-1990 ^[15]	Min 2,5	Min 2,5	
3.	Absorpsi air	SNI 03-1969-1990 SNI 03-1970-1990	Maks 3	Maks 3	%

Sumber : Spesifikasi umum 2010 (Revisi 2) Divisi 6 Halaman 31.

a. Gradasi

Adalah sangat penting menetapkan secara teliti bagian material yang lebih halus dari 0,075 mm didalam agregat kasar, pasir dan abu batu. Pengerjaannya harus dilakukan menurut tata cara penyaringan secara basah menurut (AASHTO T 11-78)

Apabila pengayakan secara basah tidak dilaksanakan mungkin bagian *filler* tambahan yang diperlukan akan melebihi perkiraan dan mengakibatkan hasil campuran yang kering dan kaku. Setelah gradasi agregat ditetapkan maka harus digambarkan pada amplop gradasi yang ditetapkan (Gambar 3.1).

Apabila agregat kasar atau pasir mengandung cukup banyak bagian yang lolos atau tertahan di #4 (6,25 mm) maka material tersebut harus dipisahkan menjadi dua fraksi yang diperiksa secara tersendiri.

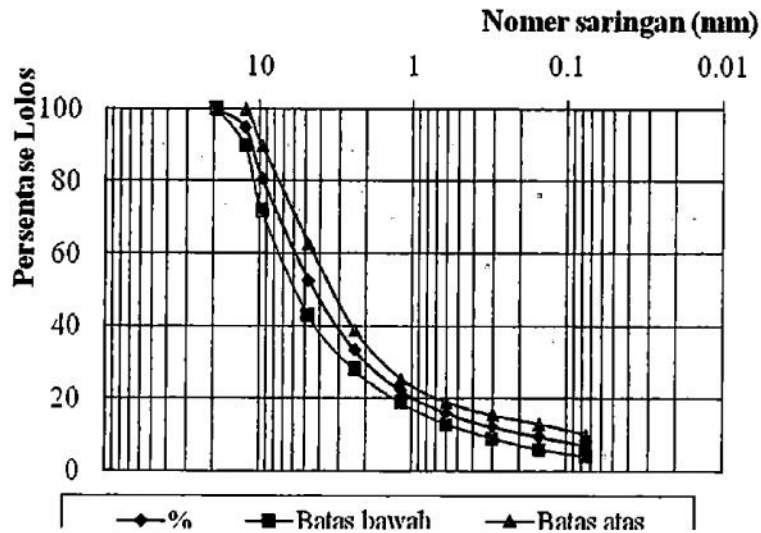
Tabel 3.2 Spesifikasi Lataston – *Wearing Course*

No.	Saringan		Persen lolos			% lolos saringan
		Bukaan	Batas atas	Batas tengah	Batas bawah	
¾"	19	19mm	100	100	100	0
½"	12.5	12,5mm	100	95	90	5
⅜	9.6	9,5mm	85	80	75	15
#4	4.75	4,75mm				
#8	2.36	2,36mm	72	61	50	19
#16	1.18	1,18mm				

Tabel 3.2. Lanjutan

No Saringan		Persen Lolos				% Lolos saringan
No	Bukaan	Batas atas	Batas tengah	Batas bawah		
#30	0.6	600 μm	60	47.5	35	13.5
#50	0.3	300 μm				
#100	0.15	150 μm				
#200	0.075	75 μm	100	8	6	8
Pan						8

Sumber : Spesifikasi umum 2010 (Revisi 2) Divisi 6 Halaman 37.



Gambar 3.1 Batas agregat yang ditentukan

b. Berat Jenis

Prosedur rencana mensyaratkan bahwa berat jenis campuran agregat harus ditentukan.

Berat jenis harus ditentukan dengan dihitung menggunakan AASHTO T 84-77 dan T 85-77. Hasilnya harus dimasukkan dan dihitung pada suatu formulir standart.

Berat jenis agregat halus mungkin sulit untuk ditentukan secara tepat, jika terdapat keragu – ragan mengenai hasil yang diperoleh, maka pengujian harus diulang oleh suatu laboratorium Independen. Untuk berat jenis (*specific gravity*) agregat kasar dan halus tidak boleh berbeda lebih dari 0,2 sesuai dengan spesifikasi Bina Marga 2010 rev-02 seksi 6 halaman 34.

c. Bentuk butir agregat kasar

Agregat – agregat yang dihasilkan di Indonesia cenderung mempunyai bentuk butir yang buruk. Sering terdapat suatu proporsi yang tinggi pada *keeping – keeping* yang panjang atau tipis rata (*pipih*)

Bentuk agregat yang buruk menghasilkan campuran – campuran yang lebih sulit dipadatkan. Karenanya bahan tersebut memerlukan lebih banyak bitumen yang mencapai batas rongga udara yang dipersyaratkan. Campuran – campuran tersebut juga sulit untuk dikerjakan.

Bentuk agregat harus diperhatikan. Dalam kasus-kasus yang ekstrim pertimbangan harus diberikan untuk memodifikasi proses pemecahan batu untuk memperbaiki bentuk dari agregat – agregat hasil pemecahan.

Fraksi agregat kasar dari abu batu pecah mesin dan disiapkan dalam ukuran nominal sesuai dengan jenis campuran yang direncanakan seperti ditunjukkan pada Tabel 3.4, dan agregat harus mempunyai agularitas seperti yang disyaratkan dalam Tabel 3.5

Tabel 3.3 Ukuran Nominal Agregat Kasar

Jenis Campuran	Ukuran nominal agregat kasar penampung dingin (<i>cold bin</i>) minimum yang diperlukan (mm)			
	5 -10	10 – 14	14 – 22	22 – 30
Lataston Lapis Aus	Ya	Ya	-	-

Sumber : Spesifikasi umum 2010 (Revisi 2) Divisi 6 Halaman 35.

Tabel 3.4 Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian	Standart	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan natrium dan magnesium sulfat	SNI 3407:2008	Maks.12 %
Abrasi dengan mesin Los Angeles ¹⁾	Campuran AC bergradasi kasar	Maks.30%
	Semua jenis campuran aspal bergradasi lainnya	Maks.40%
Kelekatan agregat terhadap aspal	SNI 2439:2011	Min. 95%
Agularitas (kedalaman dari permukaan <10 cm)	Dot's Pennsylvania Test Method,pTM No.621	95/90 ²⁾
Agularitas (kedalaman dari permukaan ≥10 cm)		80/75 ²⁾
Partikel Pipih dan Lonjong	ASTM D4791 Perbandingan 1 : 5	Maks. 10%
Material lolos Ayakan No.200	SNI 03-4142-1996	Maks. 1%

Sumber : Spesifikasi umum 2010 (Revisi 2) Divisi 6 Halaman 34.

d. Bentuk dan tekstur butir pasir

Agregat halus dari sumber manapun, harus terdiri dari pasir atau hasil pengayakan batu pecah dan terdiri dari bahan yang lolos ayakan No.4 (4,75 mm). Agregat pecah halus dan pasir harus ditumpuk dan terpisah dan harus dipasang ke instalasi pencampur aspal dengan menggunakan pemasok penampung dingin (*cold bin feeds*) yang terpisah sehingga gradasi gabungan dan presentase pasir didalam campuran dapat dikendalikan dengan baik (Speisifikasi Bina Marga 2010 rev-02,Divisi 6 Halaman 35).

Agregat halus harus memenuhi ketentuan sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.6.

Tabel 3.5 Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Standart	Nilai
Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Min 60%
Kadar lempung	SNI 3432 : 2008	Maks 1%
Angularitas (kedalaman dari permukaan <10 cm)	SNI 03-6877-2002	Min .45
Angularitas (kedalaman dari permukaan ≥ 10 cm)		Min. 40

Sumber : Spesifikasi umum 2010 (Revisi 2) Divisi 6 Halaman 36.

2. Penentuan Campuran Nominal

Sebagai suatu titik awal dalam proses pemilihan campuran kerja adalah penting untuk menentukan suatu resep Campuran Nominal yang memenuhi persyaratan gradasi kadar bitumen pada spesifikasinya

Komponen-komponen campuran agregat untuk campuran nomina, campuran-campuran percobaan dan campuran kerja sudah pasti dalam arti "Fraksi Rencana" yang disyaratkan yang didefinisikan sebagai berikut:

- CA = Fraksi Agregat Kasar
=Persen dari total berat campuran dari berat material yang tertahan pada saringan
- FA =Fraksi Agregat Halus
=Persen dari total berta campuran dari berat material yang lolos saringan #8 tai tertahan pada saringan #200
- FF =Fraksi Bahan Pengisi
=Persen dari total campuran dari material yang lolos saringan #200

Harus diperhatikan bahwa fraksi-fraksi rencana ini TIDAK sama seperti yang diperlukan untuk jumlah proporsi (*Batch Proportion*) pada *Cold Bin* dan *Hot Bin*.

Campuran Nominal direncanakan menjadi resep (contoh pada Tabel 3.7) yang menentukan nilai agregat untuk CA, FA, FF. Resep-resep yang

diberikan hanya cocok untuk batas-batas yang berbeda, nilai awal (CA) harus dipilih pada tengah-tengah dari batas yang telah ditentukan. Angka nominal (FF) harus lebih tinggi dari berikut

- a. HRS-WC 5 %
- b. Angka minimum yang telah ditentukan

Perbandingan nominal pasir : abu batu secara umum harus seperti yang diperlihatkan dalam Tabel 3.6, karena perbandingan – perbandingan ini telah memperlihatkan hasil yang memuaskan dalam praktek.

Tabel 3.6 Contoh Batas-batas “Bahan Bergradasi senjang”

Ukuran Ayakan	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3	Alternatif 4
% lolos No.8 (CA)	40	50	60	70
% lolos No.30 (FA)	Paling sedikit 32	Paling sedikit 40	Paling sedikit 48	Paling sedikit 56
% Kesenjangan (FF)	8 atau kurang	12 atau kurang	12 atau kurang	14 atau kurang

Sumber : Spesifikasi umum 2010 (Revisi 2) Divisi 6 Halaman 37.

Tabel 3.7 Resep Campuran Nominal Untuk Batas Spesifikasi

Fraksi Rencana Campuran (% dari berat total campuran)	Resep Campuran Nominal Untuk Agregat Standart HRS-WC
Agregat Kasar (CA)	39%
Agregat Halus (FA)	53%
Bahan penguji (FF)	8%

3. Aspal

Aspal terdiri dari tiga jenis, yaitu aspal keras, aspal cair serta aspal emulsi dan merupakan senyawa hidrokarbon. Aspal pada konstruksi perkerasan jalan berfungsi sebagai bahan pengikat antara butir-butir agregat dengan aspal dan aspal sebagai bahan pengisi rongga antara butir-butir agregat dan

pori-pori yang ada dari agregat itu sendiri. Aspal merupakan salah satu komponen kecil, umumnya hanya 4-10% berdasarkan berat tetapi termasuk komponen yang relatif mahal.

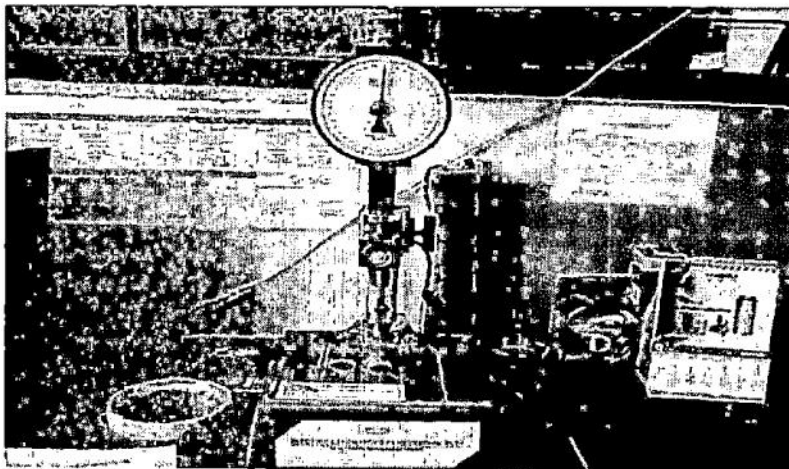
Terdapat bermacam-macam tingkat penetrasi aspal yang dapat digunakan dalam campuran agregat aspal, antara lain 40/50, 60/70, dan 80/100. Dalam pemilihan jenis aspal yang akan digunakan pada daerah beriklim panas sebaiknya aspal dengan indeks penetrasi yang rendah, dalam rangka mencegah aspal menjadi lebih kaku dan mudah pecah (*brittle*). Umumnya aspal yang digunakan di Indonesia adalah aspal dengan penetrasi 60/70.

Fungsi kandungan aspal dalam campuran juga berperan sebagai selimut penyelubung agregat dalam bentuk tebal *film* aspal yang berperan menahan gaya geser permukaan dan mengurangi kandungan pori udara yang lebih lanjut, juga berarti mengurangi penetrasi air dalam campuran.

Pemeriksaan aspal tersebut antara lain:

a. Pemeriksaan Penetrasi

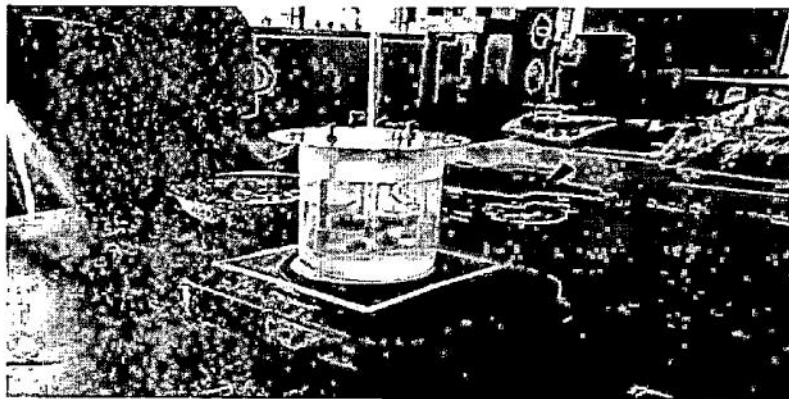
Nilai penetrasi didapat dari uji penetrasi dari alat *penetrometer* pada suhu 25°C dengan beban 100 gram selama 5 detik, dilakukan sebanyak 5 kali. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.1



Gambar 3.4 Alat uji Penetrasi Aspal

b. Pemeriksa Titik Lembek

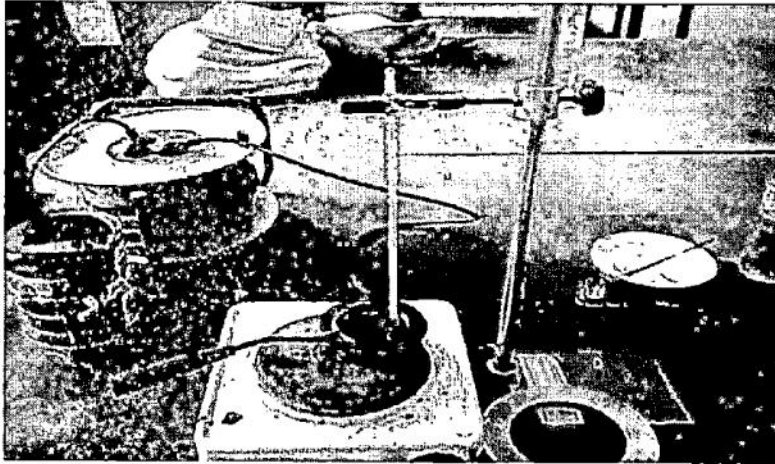
Tujuan dari pemeriksaan ini adalah untuk mengukur nilai temperature saat bola-bola baja mendesar turun lapisan aspal yang ada pada cincin, hingga aspal tersebut menyentuh dasar pelat yang terletak dibawah cincin pada jarak 1 inchi, sebagai akibat dari percepatan pemanasan tertentu. Berat bola baja 3,45 – 3,55 gram dengan diameter 9,53 mm. Pemeriksaan ini diperlukan untuk mengetahui batas kekerasan aspal. Pengamatan titik lembek dimulai dari suhu 5°C sebagai batas paling tinggi sifat kekakuan dari aspal yang disebabkan oleh sifat termoplastik.



Gambar 3.5 Pengujian pemeriksaan titik lembek

c. Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar

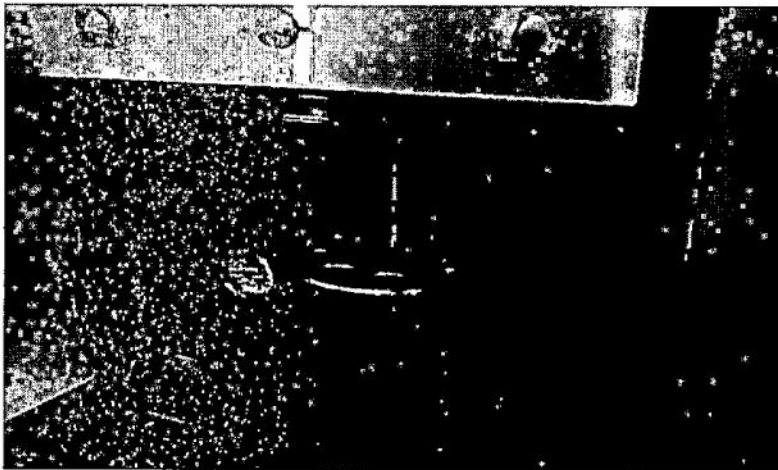
Pemeriksaan ini untuk menentukan suhu dimana diperoleh nyala pertama diatas permukaan aspal dan menentukan suhu dimana terjadi terbakarnya pertama kali diatas permukaan aspal. Dengan mengetahui nilai titik nyala dan titik bakar aspal, maka dapat diketahui suhu maksimum dalam memanaskan aspal sebelum terbakar.



Gambar 3.6 Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar

d. Pemeriksaan Kehilangan Berat

Pemeriksaan ini berguna untuk mengetahui pengurangan berat akibat penguapan unsure-unsur aspal yang mudah menguap dalam aspal. Apabila aspal dipanaskan di dalam oven pada suhu 163°C dalam waktu 4,5 – 5 jam, maka akan terjadi reaksi terhadap unsur-unsur pada aspal, sehingga dimungkinkan sifat aspal akan berubah, hal ini tidak diharapkan pada lapis perkerasan lentu, untuk itu disyaratkan kehilangan berat aspal maksimum adalah 0,8 % dari berat semula.



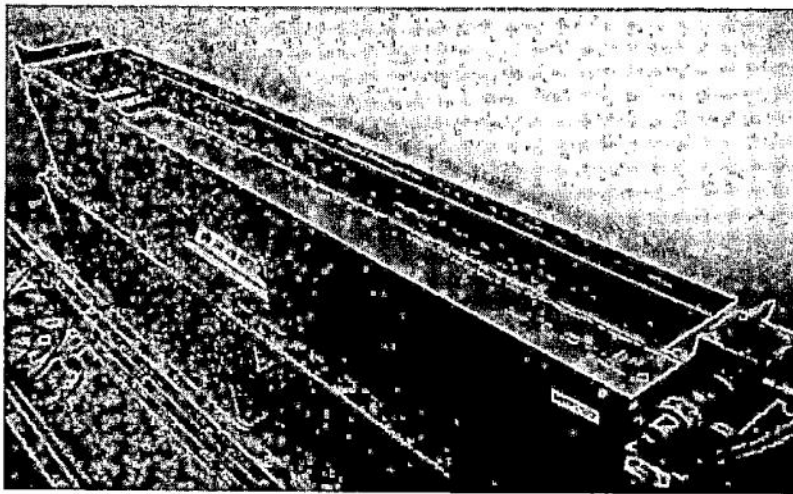
Gambar 3.7 Pengujian Kehilangan Berat

e. Pemeriksaan Kelarutan dalam *Carbon Tetra Clorida* (CCl₄)

Pemeriksaan ini dilakukan untuk menentukan jumlah unsure aspal dalam CCl₄, dengan adanya bahan-bahan yang tidak terlarut dalam CCl₄ menunjukkan adanya bahan lain yang terlarut dalam residu aspal. Persyaratan dalam pemakaian aspal yang diinginkan adalah aspal dalam kondisi tidak tercampur dengan bahan-bahan lain yang tidak terlarut dalam CCl₄.

f. Pemeriksaan Daktalitas Aspal

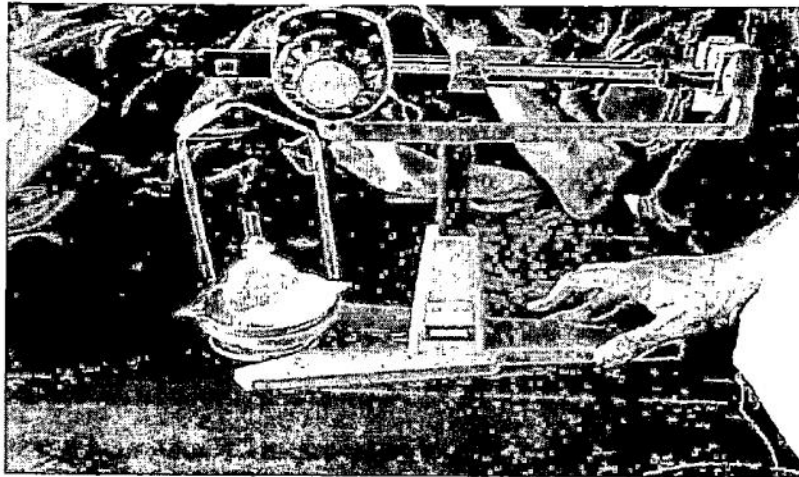
Tujuan dari pemeriksaan ini adalah mengukur jarak terpanjang yang dapat ditarik pada cetakan yang berisi aspal sebelum putus pada suhu 25°C dengan kecepatan tarik 5 cm/menit.



Gambar 3.8 Pemeriksaan Daktalitas Aspal

g. Pemeriksaan Berat Jenis Aspal

Berat jenis aspal merupakan perbandingan antara berat aspal dengan berat air suling dengan volume yang sama.



Gambar 3.9 Pemeriksaan Berat Jenis

Untuk mendapatkan campuran yang berkualitas baik terhadap aspal – agregat, maka kadar aspal dalam campuran harus dirancang sedemikian rupa sehingga mendapatkan kadar aspal optimum, maka *flim* aspal yang menyelimuti agregat akan tipis. *Flim* aspal yang tipis menyebabkan ikatan antara aspal dan agregat mudah mengelupas, mengakibatkan lapis permukaan atau perkerasan tidak lagi kedap air, oksidasi mudah terjadi, sehingga lapisan perkerasan mudah rusak.

Penelitian ini menggunakan jenis aspal keras dengan angka penetrasi 60/70 yang mengacu pada spesifikasi umum bidang jalan dan jembatan, Departemen Pekerjaan Umum (2010) , seperti pada Tabel 3.8

Tabel 3.8 Persyaratan pengujian aspal keras AC 60/70

No	Jenis Pemeriksaan	Standar Rujukan	Persyaratan		Satuan
			Min	Maks	
1.	Penetrasi (25 °C, 5 detik)	SNI 06-2456-1991	60	79	0,1 mm
2.	Titik lembek	SNI 06-2434-1991	48	58	°C
3.	Titik nyala dan titik bakar	SNI 06-2433-1991	200		°C
4.	Daktilitas (25°C, 5 cm/menit)	SNI 06-2432-1991	100		Cm
5.	Penurunan berat	SNI 06-2440-1991		0,8	% berat
6.	Berat jenis (25°C)	SNI 06-2441-1991	1		gr/cc
7.	Penetrasi setelah penurunan berat, %asli	SNI 06-2456-1991	54		

Sumber : Spesifikasi umum 2010 (Revisi 2) Divisi 6 Halaman 38

Untuk mendapatkan rancangan campuran agar didapat campuran aspal dan agregat yang berkualitas baik dilakukan pengujian-pengujian yang meliputi analisa ayakan, berat jenis dan penyerapan air untuk semua aspal meliputi penelitian berat jenis maksimum campuran beraspal (SNI 03-6893-2002), pengujian sifat-sifat *Marshall* (SNI 06-2489-1990), (Spesifikasi umum 2010 (Revisi 2) Divisi 6 Halaman 40).

Ada beberapa persamaan dalam menentukan kadar aspal optimum atau tidak, salah satu dirumuskan oleh RSNI M-01-2003 pada metode pengujian campuran beraspal panas dengan alat *Marshall*, perkiraan awal kadar aspal rancangan adalah :

$$P_b = 0,035 (\% CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18(\% Filler) + K \dots\dots\dots(3.1)$$

dengan,

- Pb : kadar aspal perkiraan
 CA : agregat kasar tertahan saringan No. 8 (*Course Agregate*)
 FA : agregat halus lolos saringan No. 8 dan tertahan No. 200 (*Fine Agregate*)
 Filler : agregat halus lolos saringan No. 200
 K : konstanta; 0,5 – 1,0 untuk Laston (AC), 2,0 – 3,0 untuk laston (HRS)

4. Filler

Bahan pengisi yang ditambahkan (*filler added*) terdiri atas debu dan 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 sumbernya disetujui oleh Direksi Pekerjaan. Jika digunakan Aspal Modifikasi dari jenis Asbuton yang diproses maka bahan pengisi yang ditambahkan (*filler added*) haruslah berasal dari mineral yang diperoleh dari Asbuton tersebut. Bahan pengisi harus kering dan bebas dari gumpalan-gumpalan. (Spesifikasi umum 2010 revisi 2, Divisi 6 Halaman 36)

Tabel 3.9 Syarat gradasi bahan pengisi (*filler*)

Sifat – sifat	Metode pengujian	Persyaratan
Berat butir yang lolos ayakan 75 mikron	SNI -4142 -1996	$\geq 75\%$

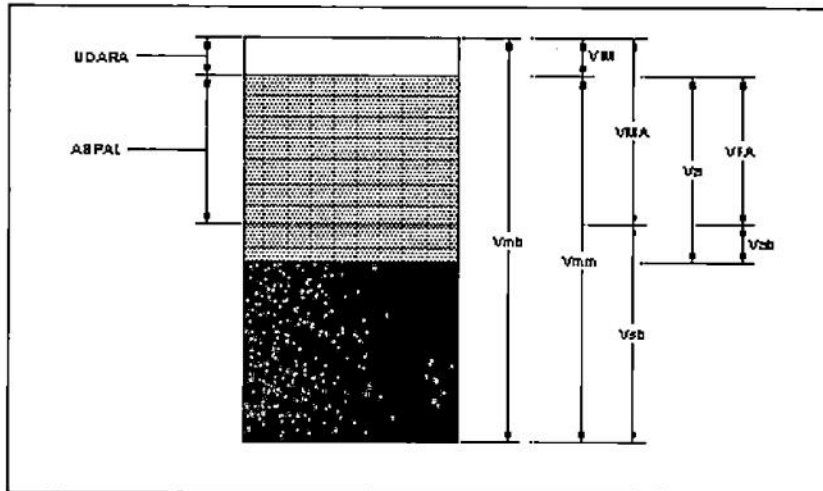
Sumber : Spesifikasi umum 2010 (Revisi 2) Divisi 6 Halaman 36.

C. Sifat Volemetrik Campuran

Beton aspal dibentuk dari agregat, aspal, dan atau tanpa bahan tambahan, yang dicampur secara merata atau homogen di instalasi pencampuran pada suhu tertentu. Campuran kemudian dihamparkan dan dipadatkan, sehingga terbentuk beton aspal padat.

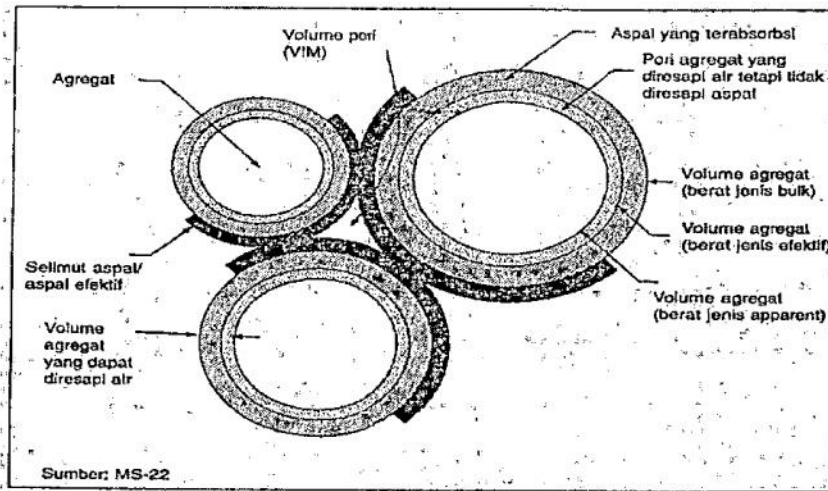
Secara analitis, dapat ditentukan sifat volumetrik dari beton aspal padat, baik yang dipadatkan di Laboratorium, maupun di lapangan. Parameter yang biasa digunakan adalah :

1. V_{mb} = Volume *bulk* dari beton aspal padat
2. VMA = Volume pori diantara butir agregat campuran, dalam beton aspal padat, termasuk yang terisi oleh aspal (*Void in the mineral aggregate*)
3. VIM = Volume pori beton aspal padat (*void in mix*)
4. VFA = Volume pori beton aspal padat yang terisi oleh aspal (*volume of void filled with asphalt*)
5. Tebal *film* aspal atau tebal selimut aspal seringkali digunakan pula untuk menentukan karakteristik aspal. VIM adalah volume pori yang tersisa setelah campuran beton aspal yang dipadatkan. VIM ini dibutuhkan untuk tempat bergesernya butir-butir agregat, akibat pemadatan tambahan yang terjadi oleh repetisi beban lalu lintas, atau tempat jika aspal menjadi lunak akibatnya meningkatnya temperaturnya. VIM yang terlalu besar akan mengakibatkan beton aspal padat berkurang kekedapan airnya begitu juga sebaliknya apabila VIM terlalu kecil akan mengakibatkan perkerasan mengalami bleeding jika temperatur meningkat.
6. VMA adalah volume pori di dalam beton aspal padat jika seluruh aspal ditiadakan. VMA akan meningkat jika selimut aspal lebih tebal, atau agregat yang digunakan bergradasi terbuka.
7. VFA adalah volume pori beton aspal padat yang terisi oleh aspal, atau volume *film*/selimut aspal



Gambar 3.10 Skematis Berbagai Jenis Volume Beton Aspal

- V_{mb} = volume *bulk* dari campuran beton aspal padat
- V_{ab} = volume agregat, adalah volume *bulk* dari agregat (volume bagian masif+pori yang ada dalam masing-masing butir agregat).
- V_{se} = volume agregat, adalah volume efektif dari agregat (volume bagian masif+pori yang tidak terisi aspal di dalam masing-masing butir agregat).
- VMA = volume pori diantara butir agregat di dalam beton aspal padat.
- V_{mm} = volume tanpa pori dari beton aspal padat.
- VIM = volume pori dalam beton aspal padat.
- V_a = volume aspal dalam beton aspal padat.
- VFA = volume pori beton aspal yang terisi oleh aspal.
- V_{ab} = volume aspal yang terabsorpsi ke dalam agregat dari beton aspal padat.



Gambar 3.11 Pengertian tentang VIM, Selimut Aspal (*Film Aspal*), Aspal yang Terabsorpsi

D. Berat jenis (Specific Gravity)

Di dalam perhitungan rancangan campuran dibutuhkan parameter penunjuk berat, yaitu berat jenis. Analisis berat jenis juga diperlukan dalam perhitungan untuk mencari karakteristik *Marshall*, sehingga perlu dipahami terlebih dahulu konsep mengenai berat jenis kering agregat, berat jenis efektif agregat, dan berat jenis maksimum teoritis campuran.

1. Berat jenis Kering Agregat (*Bulk Specific Gravity of Agregat*)

Berat jenis kering agregat dinyatakan dalam berat jenis curah untuk agregat yang merupakan campuran berbagai fraksi agregat, yaitu agregat kasar, agregat halus, dan *filler* dengan Persamaan 3.2

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \frac{P_3}{G_3} \dots + \frac{P_n}{G_n}} \dots \dots \dots (3.2)$$

dengan,

G_{sb} = Berat jenis *bulk*

P_1, P_2, P_n = Persentase masing-masing fraksi agregat (%)

G_1, G_2, G_n = Berat jenis masing-masing fraksi agregat

2. Berat jenis Semu (*Agregat (Apparent Specific Gravity of Agregat)*)

Berat jenis apparent/semu dari agregat merupakan rasio dari berat benda uji di udara terhadap volume benda uji *impermeable*, dibagi dengan berat isi air (pada temperatur yang sama). Penggunaan berat jenis semu dalam perencanaan campuran diasumsikan, bahwa aspal dapat menyerap seluruhnya ke dalam agregat sehingga akan menghasilkan kadar aspal yang relatif lebih banyak.

Berat jenis semu untuk agregat yang merupakan campuran berbagai fraksi agregat, yaitu agregat kasar, agregat halus dan *filler* dengan Persamaan 3.3

$$Gsa = \frac{P1 + P2 + \dots + Pn}{\frac{P1}{G1a} + \frac{P2}{G2a} + \dots + \frac{Pn}{Gna}} \dots\dots\dots(3.3)$$

dengan,

Gsa = Berat jenis semu total agregat (gr/cc)

P1,P2,Pn = Persentase masing-masing fraksi agregat (%)

G1a,G2a,Gna = Berat jenis semu (*apparent*) masing-masing agregat (gr/cc)

3. Berat jenis Efektif Agregat

Berat jenis efektif adalah perbandingan antara berat bahan diudara (tidak termasuk rongga yang menyerap aspal) pada satuan volume dan suhu tertentu dengan berat air destilasi dengan volume yang sama dan suhu tertentu pula, untuk mencari nilai berat jenis efektif dengan menggunakan Persamaan 3.4

$$Gse = \frac{Pmm + Pb}{\frac{Pmm}{Gmm} + \frac{Pb}{Gb}} \dots\dots\dots(3.4)$$

dengan,

Gse = Berat jenis efektif agregat (gr/cc).

Pmm = Persen berat total campuran (=100)

Gmm	=Berat jenis campuran maksimum teoritis setelah pemadatan (gr/cc)
Pb	=kadar aspal berdasarkan berat jenis maksimum campuran yang diuji dengan metode AASHTO T 2009 - 90
Gb	= Berat jenis aspal (gr/cc)

4. Berat Jenis Maksimum Campuran

Berat jenis maksimum campuran, Gmm masing-masing kadar aspal diperlukan untuk menghitung kadar rongga masing-masing kadar aspal. Berat jenis maksimum dapat ditentukan dengan AASHTO T-209-90. Ketelitian hasil uji terbaik adalah bila kadar aspal campuran mendekati kadar aspal optimum. Berat jenis maksimum (Gmm) campuran untuk masing-masing kadar aspal dapat dihitung menggunakan berat jenis efektif (Gmm) rata-rata dengan menggunakan Persamaan 3.5

$$Gmm = \frac{Pmm}{\frac{Ps}{Gse} + \frac{Pb}{Gb}} \dots\dots\dots(3.5)$$

Dengan,

Gmm	= Berat jenis campuran maksimum (gr/cc)
Pmm	= Persen berat terhadap total campuran (=100)
Ps	= Kadar agregat, persen terhadap berat total campuran
Pb	= Kadar aspal, persen terhadap berat total campuran
Gse	= Berat jenis efektif agregat (gr/cc)
Gb	= Berat jenis aspal (gr/cc)

E. Karakteristik *Marshall*

1. Kepadatan (*Density*)

Kepadatan merupakan berat campuran yang diukur tiap satuan volume, kepadatan dipengaruhi oleh kualitas bahan, kadar aspal, jumlah tumbukan, komposisi bahan penyusunnya. Nilai kepadatan yang semakin tinggi menghasilkan kemampuan menahan beban lalu lintas yang lebih baik serta

memiliki kekedapan terhadap air dan udara yang tinggi pula. Nilai kepadatan dari benda uji ini dapat dihitung dengan Persamaan 3.6

$$Gmb \frac{Wmp}{\frac{Wmssd}{\gamma_w} + \frac{Wmv}{\gamma_w}} \dots\dots\dots(3.6)$$

dengan,

- Gmb =berat volume benda uji (*density*) (gr/cc)
- Wmp =berat kering benda uji sebelum direndam air (gram)
- Wmssd =berat benda uji dalam keadaan jenuh air (gram)
- γ_w =berat volume air (gr/cc)

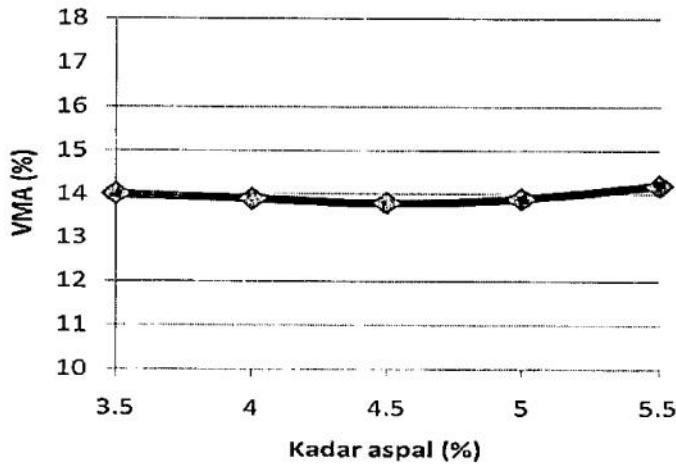
2. Rongga di Antara Mineral Agregat (*Voids in Mineral Agregat, VMA*)

Rongga diantara mineral agregat (VMA), adalah presentase rongga antar butir agregat, termasuk didalamnya rongga yang terisi udara, yang terisi aspal, dan rongga efektif yang ada dalam agregat yang terisi aspal, VMA dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.7

$$VMA = 100 - \frac{Gmm \times Ps}{Gsb} \dots\dots\dots(3.7)$$

dengan :

- VMA =voids mineral aggregate (%)
- Gbs =berat jenis agregat (gr/cc)
- Gmb =berat jenis curah campuran padat (gr/cc)
- Ps =persen agregat terhadap berat total campuran (%)



Gambar 3.12 VMA yang disarankan

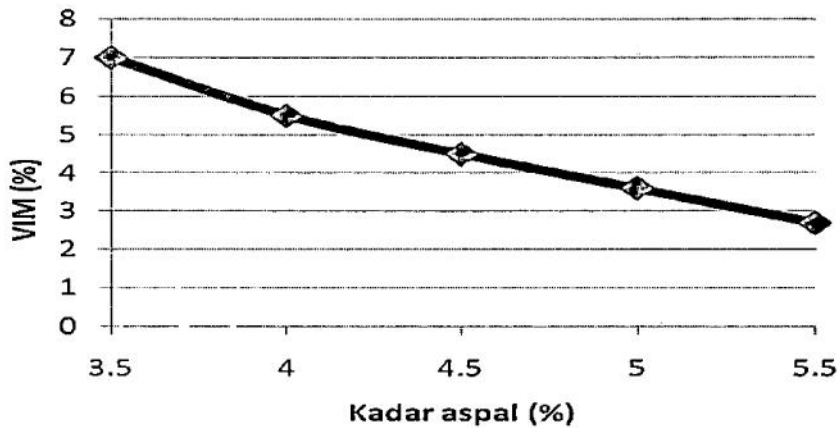
3. Rongga Dalam Campuran Beraspal (*Voids in the Mix, VIM*)

Rongga dalam campuran beraspal (VIM), adalah ruang diantara partikel agregat yang terselimuti aspal dalam suhu campuran yang telah dipadatkan, dinyatakan dalam persen terhadap volume total campuran. VITM dibutuhkan untuk tempat bergesernya butir-butir agregat akibat pemadatan tambahan dari beban lalu lintas, atau tempat jika aspal menjadi lunak akibat naiknya temperature, VITM dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.8

$$VIM = 100 - \frac{Gmm \times Gmb}{Gmm} \dots\dots\dots (3.8)$$

dengan,

- VITM =kadar rongga terhadap campuran (%)
- Gmb =berat volume benda uji (gr/cc)
- Gmm =berat jenis maksimum teoritis (gr/cc)



Gambar 3.13 VIM yang disarankan

4. Rongga Terisi Aspal (*Voids Filled with Asphalt, VFA*)

Rongga terisi aspal (VFA), adalah persen ruang diantara agregat (VMA) yang terisi aspal, tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat, dinyatakan dalam persen terhadap VMA, VFWA merupakan bagian dari VMA yang terisi oleh aspal, dimana aspal tersebut berfungsi menyelimuti butir-butir agregat dalam campuran agregat aspal padat. Untuk menghitung VFWA dapat digunakan Persamaan 3.9

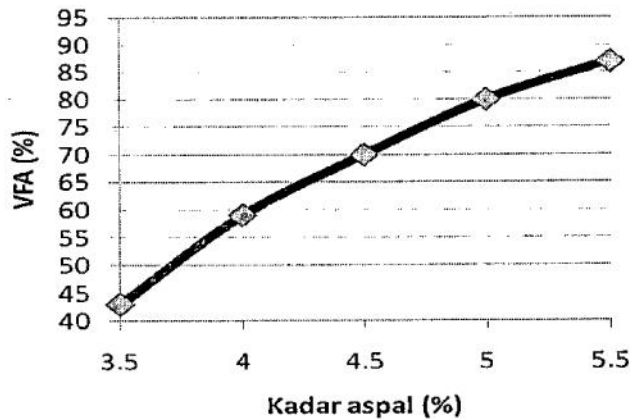
$$VITM = 100 - \frac{VMA \times VITM}{VMA} \dots\dots\dots (3.9)$$

dengan,

VFWA = rongga terisi aspal (%)

VMA = rongga diantara mineral agregat (%)

VITM = rongga didalam campuran (%)



Gambar 3.14 VFA yang disarankan

5. Stabilitas

Stabilitas lapisan perkerasan jalan adalah kemampuan lapisan perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur ataupun *bleeding*. Stabilitas terjadi dari hasil geseran antar butir, penguncian antar partikel dan daya ikat yang baik dari lapisan aspal. Untuk mendapatkan stabilitas yang tinggi, biasanya dapat dilakukan penggunaan agregat dengan gradasi yang rapat, agregat dengan permukaan yang kasar, agregat berbentuk kubus, aspal dengan penetrasi rendah serta aspal dalam jumlah yang mencukupi untuk ikatan antar butir.

Formula untuk menghitung nilai Stabilitas dapat dihitung juga menggunakan Persamaan 3.10

$$O = q \times \text{kalibrasi } proving \text{ ring} \times \text{koreksi tebal benda uji} \dots \dots \dots (3.10)$$

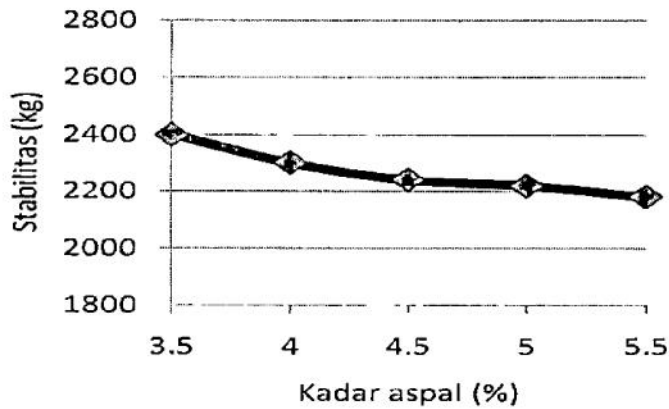
Dengan,

O = stabilitas (kg)

Q = nilai pembacaan alroji stabilitas

Kalibrasi *proving* = 40,8

Koreksi tebal benda uji = 0,4536

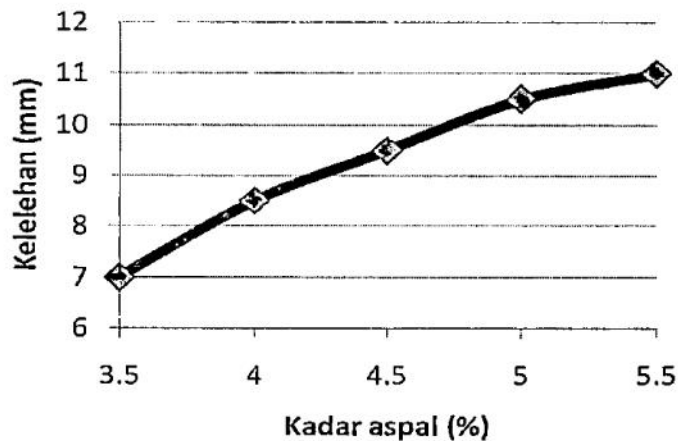


Gambar 3.15 Stabilitas yang disarankan

6. Kelelahan / *flow*

Kelelahan adalah keadaan perubahan bentuk suatu campuran yang terjadi akibat suatu beban sampai batas runtuh yang dinyatakan dalam mm. Kelelahan dapat merupakan indikator terhadap lentur dan kelelahan akan meningkat seiring dengan meningkatnya kadar aspal. Parameter kelelahan diperlukan untuk mengetahui deformasi vertikal campuran saat dibebani hingga hancur

Apabila pembacaan pada alroji menunjukkan nilai *flow* rendah, maka campuran cenderung menjadi getas, sebaliknya jika nilai *flow* tinggi campuran cenderung plastis.



Gambar 3.16 Kelelahan yang disarankan

7. Marshall Quotient (MQ)

MQ adalah hasil bagi dari stabilitas dengan keelehan yang dipergunakan untuk pendekatan terhadap tingkat kekakuan atau kelenturan campuran, dinyatakan dalam Kn/mm . Nilai MQ yang tinggi menunjukkan nilai kekakuan lapis keras tinggi. Lapis keras yang mempunyai nilai MQ yang terlalu tinggi akan mudah terjadi retak-retak akibat repitisi beban lalu lintas. Jika nilai MQ yang terlalu rendah menunjukkan campuran terlalu fleksibel yang mengakibatkan perkerasan mudah berubah bentuk bila menahan beban lalu lintas. Persyaratan untuk nilai parameter Marshall dapat dilihat pada Tabel 3.11

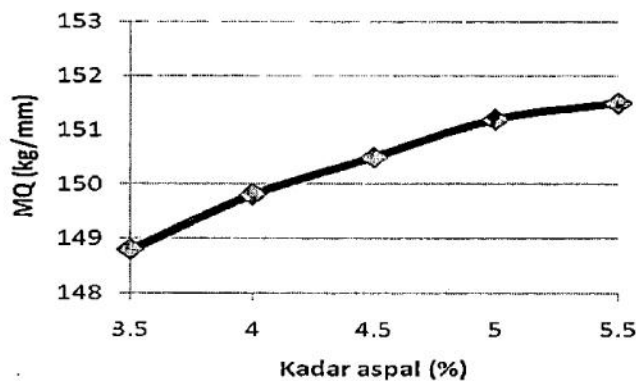
$$MQ = \frac{MS}{MF} \dots\dots\dots(3.11)$$

dengan,

MQ = *Marshaal Quotient* (kg/mm)

MS = *Marshall Stability* (kg)

MF = nilai keelehan plastis / *flow* (mm)



Gambar 3.17 *Marshall Quotien* yang disarankan

8. Penyerapan Aspal

Penyerapan air dari agregat merupakan penambahan berat yang terjadi pada agregat akibat air yang meresap ke pori-pori, tetapi belum termasuk air yang tertahan pada permukaan luar agregat. Penyerapan dinyatakan

dalam persentase terhadap berat keringnya (diproven pada temperatur 110 ± 5 °C selama ± 12 jam). Kemampuan agregat menyerap air (aspal) adalah informasi yang penting diketahui dalam perencanaan campuran beraspal. Jika daya serap tinggi, agregat akan terus menyerap aspal pada saat maupun setelah proses pencampuran dapat dipergunakan Persamaan 3.12

$$P_{ba} = 100 \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb} G_{se}} G_b \dots\dots\dots(3.12)$$

dengan,

- P_{ba} = penyerapan aspal (%)
- G_{se} = berat jenis efektif agregat (gr/cc)
- G_{sb} = berat jenis agregat (gr/cc)
- G_b = berat jenis aspal (gr/cc)

9. Kadar Aspal Efektif

Kadar aspal efektif campuran beraspal adalah kadar aspal total dikurangi jumlah aspal yang terserap oleh partikel agregat. Kadar aspal efektif ini akan menyelimuti permukaan agregat bagian luar yang pada akhirnya menentukan kinerja perkerasan aspal dengan Persamaan 3.13

$$P_{be} = P_b \frac{P_{ba}}{100} P_s \dots\dots\dots(3.13)$$

dengan,

- P_{be} = Kadar aspal efektif, persen terhadap berat total campuran
- P_b = Kadar aspal total, persen terhadap berat total campuran
- P_s = Persen agregat terhadap total campuran
- P_{bs} = Penyerapan aspal, persen terhadap berat agregat

F. Kadar Aspal Optimum

Kadar aspal optimum adalah hasil dari pengujian Marshall yang berupa nilai tengah dari rentang kadar aspal yang memenuhi spesifikasi campuran. Untuk mendapatkan kadar aspal optimum terlebih dahulu harus digambarkan hubungan antara kadar aspal dengan karakteristik Marshall, yaitu gambar hubungan antara

kadar aspal dengan kepadatan (density), kadar aspal dengan voids mineral aggregate (VMA), kadar aspal dengan voids in the mix (VITM), kadar aspal dengan voids filled Aggregate (VFWA), kadar aspal dengan stabilitas, kadar aspal dengan flow, dan kadar aspal dengan Marshall Quotient (MQ). Kadar aspal optimum ditentukan dengan mendapatkan batas-batas spesifikasi pada gambar-gambar tersebut.

Persyaratan karakteristik campuran *Hot Rolled Sheet – Wearing Course* (HRS – WC) sesuai dengan Spesifikasi umum 2010 (Revisi 2) seperti pada tabel 3.10.

Kadar aspal optimum yang baik adalah kadar aspal yang memenuhi sifat campuran yang diinginkan dengan rentang kadar aspal optimum lebih besar 0,5 %. Hal ini dibutuhkan untuk memberikan ruang toleransi terhadap penyimpangan-penyimpangan serta kesalahan-kesalahan-kesalahan yang mungkin terjadi selama proses pencampuran, penghamparan maupun pampadatan (Sukirman, 2003).

Tabel 3.10 Persyaratan sifat campuran untuk HRS-WC

No.	Sifat-Sifat Campuran	Min	Maks	Satuan
1.	Kadar aspal efektif	5.9	-	%
2.	Penyerapan aspal	-	1,5	%
3.	Stabilitas	800	-	Kg
4.	Kelelehan	3	-	Mm
5.	<i>Quotient Marshall</i>	250	-	Kg/mm
6.	Rongga dalam campuran (VIM)	3	6	%
7.	Rongga di antara mineral agregat (VMA)	18	-	%
8.	Rongga terisi aspal (VFA)	68	-	%

Sumber : Spesifikasi umum 2010 (Revisi 2) Divisi 6 Halaman 41.