

BAB III

LANDASAN TEORI

A. Bahan Penyusun Campuran *Hot Rolled Sheet -Wearing Course*

Adanya lapisan yang padat dan awet pada beberapa lapisan beraspal dikarenakan aspal tersebut memiliki susunan agregat yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus, bahan pengisi (*filler*) dan bahan ikat aspal yang telah dicampur di pusat instalasi pencampuran, serta dihampar dan dipadatkan diatas pondasi atau permukaan jalan yang telah disiapkan, oleh karena itu semua jenis pencampuran itu harus sesuai spesifikasi yang ada.

1. Agregat

Agregat merupakan komponen utama dari struktur perkerasan jalan, yaitu 90-95% agregat berdasarkan persentase berat, atau 75-85% agregat berdasarkan persentase volume. Dengan demikian kualitas perkerasan jalan ditentukan dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain. Berikut adalah agregat yang digunakan dalam campuran beton aspal :

a. Agregat Kasar

Agregat kasar yaitu batuan yang tertahan saringan no.8 (2,36 mm). Fungsi agregat kasar dalam campuran *Hot Rolled Sheet* (HRS) adalah untuk mengembangkan volume mortar, dengan demikian membuat campuran lebih ekonomis dan meningkatkan ketahanan terhadap kelelahan.

Tabel 3.1. Persyaratan agregat kasar

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

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga Edisi 2010 (Revisi 3)

b. Agregat Halus

Agregat halus dapat berupa pasir, batu pecah atau kombinasi dari keduanya. Agregat halus adalah material yang pada prinsipnya lewat saringan 2.36 mm dan tertahan pada saringan 75 μm atau saringan no. 200.

Fungsi utama agregat halus adalah mendukung stabilitas dan mengurangi deformasi permanen dari campuran melalui ikatan (*interlocking*) dan gesekan antar partikel. Berkenaan dengan hal ini, sifat-sifat khas yang diperlukan dari agregat adalah sudut permukaan, kekasaran permukaan, bersih dan bukan bahan organik. Dalam konstruksi *Hot Rolled Sheet* (HRS) komposisi agregat halus merupakan bagian yang terbesar sehingga sangat mempengaruhi kinerja pada saat masa konstruksi maupun pada masa pelayanan.

Tabel 3.2.Persyaratan agregat halus

Pengujian	Standar	Nilai
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-1997	Min 60%
Angularitas dengan uji kadar rongga	SNI 03-6877-2002	Min 45%
Agregat lolos ayakan no.200	SNI ASTM C117:2012	Maks 10%
Kadar lempung	SNI 03-4141-1996	Max 1%

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga Edisi 2010 (Revisi 3)

b. Bahan pengisi (*Filler*)

Filler adalah material yang lolos saringan no.200 (0,075 mm) dan termasuk kapur hidrat, abu terbang, Portland semen dan abu batu. Filler dapat berfungsi untuk mengurangi kepekaan terhadap temperatur serta mengurangi jumlah rongga udara dalam campuran, namun demikian jumlah filler harus dibatasi pada suatu batas yang menguntungkan. Terlampaui tinggi kadar filler maka cenderung menyebabkan campuran menjadi getas dan akibatnya akan mudah retak akibat beban lalu lintas. Pada sisi lain kadar filler yang terlampaui rendah menyebabkan campuran menjadi lembek pada temperatur yang relatif tinggi. Jumlah filler ideal antara 0.6 sampai 1.2, yaitu perbandingan persentase filler dengan persentase kadar aspal dalam campuran atau lebih dikenal dengan istilah *Dust Proportion*.

2. Aspal

Aspal merupakan senyawa hidrokarbon berwarna hitam atau coklat tua, yang tersusun dari unsur-unsur *asphaltness*, *resin* dan *oils*, sedangkan senyawa hidrokarbon tersebut banyak terkandung dalam bitumen, sehingga aspal sering juga disebut sebagai bitumen. *Asphaltenes* yang merupakan material berwarna hitam atau coklat tua yang tidak larut dalam *n-heptane*. *Asphaltenes* menyebar di dalam larutan yang disebut *maltenes*. *Malthenes* larut dalam *heptane*, merupakan cairan kental yang terdiri dari *resins* dan *oils*. *Resins* adalah cairan berwarna kuning atau coklat tua yang memberikan sifat adhesi dari aspal, merupakan bagian yang mudah hilang atau berkurang selama masa pelayanan jalan, sedangkan *oils* yang berwarna lebih muda merupakan media dari *asphaltenes* dan *resins*. *Maltenes* merupakan komponen yang mudah berubah sesuai perubahan temperature dan umur pelayanan.

Menurut Sukirman (2003) aspal sering digunakan sebagai material perkerasan jalan karena berfungsi sebagai:

- a. Bahan pengikat, memberikan ikatan yang kuat antara aspal dan agregat dan antara sesama aspal.
- b. Bahan pengisi, mengisi rongga antar butir agregat dan pori-pori yang ada di dalam butir agregat itu sendiri.

Aspal yang digunakan dalam campuran beraspal Lataston (HRS-WC) adalah aspal keras / *asphalt cement* penetrasi 60/70 yang memenuhi persyaratan seperti pada Tabel 3.3. Kadar aspal dalam campuran Lataston merupakan perbandingan antara persentase berat aspal terhadap berat total campuran agregat, yang mana besaran persentase tersebut akan ditentukan dari hasil perhitungan pada benda uji pemeriksaan kadar aspal optimum (KAO). Kadar aspal yang semakin tinggi akan mempengaruhi kemampuan aspal untuk saling mengikat antar butir agregat dan mengurangi kadar rongga dalam campuran, tetapi apabila kadar aspal terlalu tinggi maka akan terjadi *bleeding* dimana material campuran lapisan perkerasan beraspal akan terpompa keluar atau lepas akibat beban lalu lintas (Sukirman, 2003).

Dalam AASTHO (1982) dinyatakan bahwa jenis aspal keras ditandai dengan angka penetrasi aspal, angka ini menyatakan tingkat kekerasan aspal atau tingkat konsentrasi aspal, semakin meningkatnya angka penetrasi aspal maka tingkat kekerasan aspal semakin tinggi. Terdapat bermacam-macam tingkat penetrasi aspal yang dapat di gunakan dalam campuran agregat aspal, antara lain 40/50, 60/70, 80/100. Umumnya aspal yang di gunakan 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. Penelitian ini menggunakan jenis aspal keras dengan angka penetrasi 60/70 yang mengacu pada spesifikasi umum bidang jalan dan jembatan, Departemen Pekerjaan Umum tahun 2010 (Revisi 3).

b. Pemeriksaan Titik Lembek

Tujuan dari pemeriksaan ini adalah untuk mengukur nilai temperatur saat bola-bola baja mendesak 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. Penelitian ini mengacu pada Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan, Departemen Pekerjaan Umum tahun 2010 (Revisi 3).

c. Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar

Pemeriksaan ini untuk menentukan suhu dimana diperoleh nyala pertama di atas permukaan aspal dan menentukan suhu dimana terjadi

terbakarnya pertama kali di atas permukaan aspal. Dengan mengetahui nilai titik nyala dan titik bakar aspal, maka dapat diketahui suhu maksimum dalam memanaskan aspal sebelum terbakar. Penelitian ini mengacu pada Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan, Departemen Pekerjaan Umum tahun 2010 (Revisi 3).

d. Pemeriksaan Daktilitas 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. Penelitian ini mengacu pada Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan, Departemen Pekerjaan Umum tahun 2010 (Revisi 3).

e. Pemeriksaan Berat Jenis Aspal

Berat jenis aspal merupakan perbandingan antara berat aspal dengan berat air suling dengan volume yang sama. Penelitian ini mengacu pada Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan, Departemen Pekerjaan Umum tahun 2010 (Revisi 3).

Untuk mendapatkan campuran yang berkualitas baik terhadap aspal – agregat , maka kadar aspal dalam campuran harus dirancang sedemikian rupa sehingga mendapatkan kadar aspal optimum. Bila kadar aspal yang ditambahkan lebih rendah dari kadar aspal optimum, maka *film* aspal yang menyelimuti agregat akan tipis. *Film* aspal yang tipis menyebabkan ikatan antara aspal dan agregat mudah mengelupas, mengakibatkan lapis permukaan atau perkerasan tidak lahi kedap air, oksidasi mudah terjadi, sehingga lapisan perkerasan mudah menjadi rusak.

Penambahan kadar aspal yang lebih tinggi dari kadar aspal optimum akan menyebabkan aspal tidak lagi dapat menyelimuti agregat dengan baik. Jika volume pori dalam total campuran kecil, maka dengan adanya pemadatan tambahan akibat beban lalu lintas dan temperatur udara yang tinggi akan menyebabkan aspal keluar dari lapisan (*bleeding*), dan mengakibatkan permukaan jalan menjadi licin dan tidak aman bagi pengguna jalan. Kelebihan kadar aspal juga dapat menyebabkan kerusakan pada lapisan permukaan seperti

keriting (*corrugation*), bergelombang (*washboarding*), dan pergeseran (*shoving*), Daryanto (2005) dalam Rojali (2008).

Penelitian ini menggunakan jenis aspal keras dengan angka penetrasi 60/70 yang mengacu pada spesifikasi umum bidang jalan dan jembatan, Departemen Pekerjaan Umum tahun 2010 (Revisi 3), seperti pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3. Persyaratan Aspal Keras Pen 60/70

No	Jenis Pemeriksaan	Cara pemeriksaan	Penetrasi 60/70	Satuan	Tipe II Aspal yang dimodifikasi	
					A	B
					Asbuton yang diproses	Elastomer sintesis
1	Penetrasi (25°C, 5 detik)	SNI 06-2456-1991	60-70	0,1 mm	Min 50	Min 40
2	Viskositas Dinamis	SNI 06-6441-2000	160-240	60°C	240-360	320-480
3	Viskositas kinemis	SNI 06-6441-2000	>300	135°C	385-2000	< 3000
4	Titik Lembek (ring ball)	SNI 2434:2011	>48	°C	> 53	> 54
5	Titik Nyala (Clev.Open cup)	SNI 2433 : 2011	>232	°C	>232	>232
6	Daktalitas (25°C, 5 cm/menit)	SNI 2433 : 2011	>100	% berat	>100	>100
7	Kelarutan dalam trichloethy	AASHTO 144-03	>99	% berat	>99	>99
8	Berat Jenis (25°C)	SNI 2441 : 2011	>1,0	gr/cc	>1,0	>1,0
9	Stabilitas penyimpanan perbedan titik lembek	ASTM D 5976 part 6.1	-	°C	<2,2	<2,2
10	Partikel yang lebih halus dari 150 micron	-	-	% berat	Min 95	
Pengujian Residu hasil TFOT (SNI-03-6835-2002)						
11	Berat yang hilang	SNI 06-2441-1991	<0,8	% berat	<0,8	<0,8
12	Viskositas dinamis	SNI 03-6441-2000	<800	°C	<1200	<1600
13	Penetrasi pada 25 °C	SNI 06-2456-1991	>54	% berat	>54	>54
14	Daktalitas pada 25 °C	SNI 2432 : 2011	>100	Cm	>50	>25
15	Keelastisan setelah pengembalian	AASHTO T 301-98	-	% berat		>60

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga Edisi 2010 (Revisi 3)

Ada beberapa persamaan dalam menentukan kadar aspal optimum atau tidak, salah satunya yang dirumuskan oleh Departemen Pekerjaan Umum (2010), dan SNI 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,

P_b = kadar aspal perkiraan

CA (*Course Aggregate*) = agregat kasar tertahan saringan No. 8

FA (*Fine Aggregate*) = agregat halus lolos saringan No. 8 dan tertahan No. 200

Filler = agregat halus lolos saringan No. 200

K = konstanta ; 0,5-1,0 untuk Laston (AC), 2,0-3,0 untuk Lataston (HRS)

Kadar aspal optimum adalah nilai tengah dari rentang kadar aspal yang menggambarkan hubungan antara kadar aspal rancangan dengan nilai dari setiap parameter karakteristik *Marshall*, dan yang memenuhi sifat-sifat campuran serta ketentuan yang disyaratkan. Sifat-sifat benda uji yang sudah dipadatkan dihitung menggunakan metode persamaan yang ditunjukkan dalam petunjuk rancangan campuran aspal.

B. Pembagian Butir Agregat

Pembagian butir (gradasi) agregat adalah distribusi butir-butir agregat dengan ukuran tertentu yang diperoleh dari hasil analisis saringan dengan menggunakan satu set saringan yang dinyatakan dalam persentase lolos, atau persentase tertahan, dihitung berdasarkan berat agregat. Gradasi mempengaruhi sifat dari campuran aspal panas meliputi kekakuan, *stabilitas*, *durabilitas*, *permeabilitas*, *workabilitas*, kekesatan, dan ketahanan terhadap kerusakan.

Gradasi agregat menentukan besarnya rongga atau pori yang mungkin terjadi dalam campuran agregat. Distribusi butiran agregat dengan ukuran tertentu yang dimiliki oleh suatu campuran menentukan jenis gradasi agregat.

Menurut Sukirman (1999), gradasi agregat dapat dikelompokkan dalam 3 jenis, yaitu :

1. Gradasi Menerus (*Continuous Graded*), atau biasa disebut gradasi rapat (*dense graded*) merupakan campuran agregat kasar dan halus dalam porsi yang berimbang, sehingga dinamakan juga agregat bergradasi baik (*well graded*).
2. Gradasi Tunggal (*Single Graded*), atau gradasi seragam (*uniformly* atau *one size graded*), adalah agregat dengan ukuran yang hamper sama / sejenis atau mengandung agregat halus yang sedikit jumlahnya sehingga tidak dapat mengisi rongga antar agregat. Campuran agregat bergradasi tunggal atau seragam akan menghasilkan lapis perkerasan dengan sifat permeabilitas tinggi, stabilitas kurang, dan berat volume kecil.
3. Gradasi Buruk (*poorly graded*) adalah campuran agregat yang tidak memenuhi 2 kategori diatas. Agregat bergradasi buruk yang umum di gunakan untuk lapisan perkerasan lentur yaitu gradasi celah (*gap graded*) / gradasi senjang, merupakan campuran agregat dengan 1 fraksi hilang atau 1 fraksi sedikit sekali. Campuran bergradasi senjang akan menghasilkan lapis perkerasan yang mutunya terletak antara kedua jenis diatas.

Menurut Robert (1991), gradasi agregat merupakan gambaran distribusi ukuran partikel agregat berupa presentase lolos saringan. Gradasi ditentukan dari analisis saringan dengan menggunakan satu set saringan sesuai dengan spesifikasi gradasi campuran saringan yang paling besar diletakkan paling atas dan saringan yang paling kecil diletakkan paling bawah. Satu set saringan berdasarkan AASHTO menunjukkan ukuran bukaan dari masing-masing saringan seperti yang ditampilkan pada Tabel 3.4 di bawah ini.

Tabel 3.4. Ukuran Bukaannya Saringan

Ukuran Saringan	Bukaan (mm)	Ukuran Saringan	Bukaan (mm)
4 inchi	100	3/8 inchi	9,5
3 1/2 inchi	90	No. 4	4,75
3 inchi	75	No. 8	2,36
2 1/2 inchi	63	No. 16	1,18
2 inchi	50	No. 30	0,6
1 1/2 inchi	37,5	No. 50	0,3
1 inchi	25	No. 100	0,15
3/4 inchi	19	No. 200	0,075
1/2 inchi	12,5		

Sumber : Sukirman, 2006

Pada campuran HRS – WC digunakan agregat dengan gradasi senjang (*gap graded*). Dengan karakteristik campuran HRS-WC yang bergradasi halus, maka akan diperoleh rongga dalam agregat (VMA) yang lebih besar. Untuk HRS – WC dan HRS – Base, paling sedikit 80% agregat lolos ayakan No. 8 (2,36 mm) harus juga lolos ayakan No. 30 (0,600 mm). Seperti terlihat pada contoh batas-batas ‘bahan bergradasi senjang’ yang lolos ayakan No. 8 (2,36 mm) dan tertahan ayakan No. 30 (0,600 mm) dalam Tabel 3.5.

Tabel 3.5. Gradasi agregat gabungan untuk campuran Lataston (HRS-WC)

Ukuran Ayakan (mm)		% Berat Lolos Terhadap Total Agregat dalam Campuran			
		HRS-WC			
		Gradasi Senjang		Gradasi Semi Senjang	
Inchi	Mm	<i>Wearing Coarse (WC)</i>	<i>Base</i>	<i>Wearing Coarse (WC)</i>	<i>Base</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1½	37,5	-	-	-	-
1	25	-	-	-	-
¾	19	100	100	100	100
½	12,5	90 – 100	90-100	90-100	90-100

Tabel 3.5. Lanjutan

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
$\frac{3}{8}$	9,5	75 – 85	65-90	55-88	55-70
No.40	4,75	-	-	-	-
No.8	2,36	50 – 72	35-55	50-62	32-44
No.16	1,18	-	-	-	-
No.30	0,6	35 – 60	15-35	20-45	15-35
No.50	0,3	-	-	15-35	5-35
No.100	0,15	-	-	-	-
No.200	0,075	6 – 10	2-9	6-10	4-8

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga Edisi (Revisi 3)

C. Pengujian Metode *Marshall* (*Marshall Test*)

Pada pengujian ini meliputi pengukuran stabilitas dan pelelehan (*flow*) suatu campuran beraspal dengan butir agregat berukuran maksimum 25,4 mm. Stabilitas adalah kemampuan suatu campuran aspal untuk menerima beban sampai terjadi alir (*flow*) yang dinyatakan dalam kilogram. Alir (*flow*) adalah keadaan perubahan bentuk suatu campuran aspal yang terjadi akibat suatu beban, dinyatakan dalam mm. Acuan yang biasanya digunakan dalam pengujian dengan metode *Marshall* yaitu SNI 06-2489-1991, AASHTO T 245-97, AASHTO T 209-90, BS 598, dan Asphalt Institute MS-2-1994.

Pengujian *Marshall* merupakan suatu metode untuk menentukan rancangan campuran agregat-aspal, dimana dalam metode ini terlebih dahulu dibuat benda uji padat yang dibentuk dari agregat campuran dan aspal dengan kadar tertentu sesuai spesifikasi campuran. Pengujian *Marshall* dilakukan dengan menggunakan alat *Marshall*, merupakan alat tekan yang dilengkapi kepala penekan (*breaking head*) berbentuk lengkung, cincin penguji (*proving ring*) kapasitas 2500 kg dan atau 5000 kg yang digunakan untuk mengukur nilai stabilitas, arloji (*dial*) tekan dengan ketelitian 0,0025 mm, arloji pengukur alir (*flow*) dengan ketelitian 0,25 mm digunakan untuk mengukur kelelehan plastis (*flow*) beserta perlengkapannya.

D. Metode Pengujian Material

1. Agregat Kasar

Agregat kasar merupakan kerikil sebagai hasil disintegrasi ‘alami’ dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 4,75 mm (No.4) sampai 40 mm (No.11/2 inchi). Beberapa perhitungan dalam agregat kasar yaitu :

a. Berat Jenis Curah Kering

Dalam perhitungan berat jenis curah kering (S_d) menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Berat Jenis Curah Kering} = \frac{A}{(B-C)} \dots\dots\dots (3.2)$$

dengan,

A = berat benda uji kering oven (gram)

B = Berat Benda Uji kondisi jenuh kering permukaan di udara (gram)

C = Berat Benda Uji dalam air (gram)

b. Berat Jenis Curah (Jenuh Kering Permukaan)

Dalam perhitungan berat jenis curah kering permukaan (S_s) menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Berat Jenis Curah (Jenuh Kering Permukaan)} = \frac{B}{(B-C)} \dots\dots\dots (3.3)$$

dengan,

B = berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan di udara (gram)

C = berat benda uji dalam air (gram)

c. Berat Jenis Semu

Dalam perhitungan berat jenis semu (S_a) menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Berat Jenis Semu} = \frac{A}{(A-C)} \dots\dots\dots (3.4)$$

dengan,

A = berat benda uji kering oven (gram)

C = berat benda uji dalam air (gram)

d. Penyerapan Air

Dalam perhitungan persentase penyerapan air (S_w) menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Penyerapan air} = \frac{B-A}{A} \times 100\% \dots\dots\dots(3.5)$$

dengan,

A = berat benda uji kering oven (gram)

B = berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan di udara (gram)

e. Keausan Agregat dengan mesin *Los Angeles*

Keausan Agregat dengan mesin *Los Angeles* merupakan pengujian untuk mengetahui angka keausan yang dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus terhadap berat semula dalam persen. Untuk menghitung keausan agregat maka digunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Keausan} = \frac{a-b}{a} \times 100 \dots\dots\dots(3.6)$$

dengan,

A = berat benda uji semula (gram)

B = berat benda uji tertahan saringan No.12 (1,70mm) (gram)

2. Agregat Halus

Agregat halus ialah merupakan pasir alam sebagai hasil disintegrasi ‘alami’ batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 4,75 mm (No.4). Dalam menghitung berat jenis agregat halus menggunakan piknometer, dengan cara menghitung jumlah air yang dibutuhkan untuk mengisi piknometer pada temperatur yang ditentukan secara volumetrik dengan menggunakan buret yang ketelitiannya 0,15 mL. Hitung berat total piknometer, benda uji dan air dengan rumus :

$$C = 0,9975.Va + S + W \dots\dots\dots(3.7)$$

dengan,

C = berat piknometer, benda uji dan air pada batas pembacaan (gram)

Va= volume air yang dimasukkan kedalam piknometer (mL)

S = berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan (gram)

W = berat piknometer kosong (gram)

Langkah alternatif lainnya menggunakan labu Le Chatelier adalah dengan mengisi labu tersebut dengan air sampai pada posisi garis yang berada di antara 0 dan 1mL. Beberapa perhitungan dalam agregat halus yaitu :

a. Berat Jenis Curah Kering

Dalam perhitungan berat jenis curah kering (S_d) menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Berat Jenis Curah Kering} = \frac{A}{(B+S-C)} \dots\dots\dots(3.8)$$

dengan,

A= berat benda uji kering oven (gram)

B= berat piknometer yang berisi air (gram)

C= berat piknometer dengan benda (gram)

S= berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan (gram)

Jika labu Le Chatelier digunakan, maka berat jenis curah kering dihitung dengan persamaan :

$$\text{Berat jenis curah kering} = \frac{S_1 \left(\frac{A}{S}\right)}{0,9975(R_2-R_1)} \dots\dots\dots(3.9)$$

dengan,

A= berat benda uji kering oven (gram)

R₁= pembacaan awal posisi air pada labu Le Chatelier

R₂= pembacaan akhir posisi air pada labu Le Chatelier

S= berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan (gram)

S_1 = berat benda uji kondisi jkp yang dimasukkan ke labu (gram)

b. Berat Jenis Curah (Jenuh Kering Permukaan)

Dalam perhitungan berat jenis curah kering permukaan (S_s) menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Berat Jenis Curah} = \frac{S}{(B+S-C)} \dots \dots \dots (3.10)$$

dengan,

B = berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan di udara (gram)

C = berat benda uji dalam air (gram)

S = berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan (gram)

Jika labu Le Chatelier digunakan, maka berat jenis curah kering dihitung dengan persamaan :

$$\text{Berat jenis curah kering} = \frac{S_1 \left(\frac{A}{S}\right)}{0,9975(R_2 - R_1)} \dots \dots \dots (3.11)$$

dengan,

R_1 = pembacaan awal posisi air pada labu Le Chatelier

R_2 = pembacaan akhir posisi air pada labu Le Chatelier

S_1 = berat benda uji kondisi jkp yang dimasukkan ke labu (gram)

c. Berat Jenis Semu

Dalam perhitungan berat jenis semu (S_a) menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Berat Jenis Semu} = \frac{A}{(B+A-C)} \dots \dots \dots (3.12)$$

dengan,

A = berat benda uji kering oven (gram)

B = berat piknometer yang berisi air (gram)

C = berat piknometer dengan benda uji dan air sampai batas pembacaan (gram)

d. Penyerapan Air

Dalam perhitungan persentase penyerapan air (S_w) menggunakan

persamaan sebagai berikut :

$$\text{Penyerapan air} = \left[\frac{S-A}{A} \right] \times 100\% \dots \dots \dots (3.13)$$

dengan,

A = berat benda uji kering oven (gram)

S = berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan di udara (gram)

3. Aspal

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

Penetrasi merupakan kekerasan yang dinyatakan sebagai kedalaman masuknya jarum penetrasi standar secara vertikal yang dinyatakan dalam satuan 0,1 mm pada kondisi beban, waktu dan temperatur yang diketahui. Untuk mendapatkan nilai penetrasi dilakukan dengan cara menggunakan alat *penetrometer*.

b. Titik Lembek

Untuk mendapatkan nilai titik lembek aspal dilakukan pengujian titik lembek menggunakan alat cincin dan bola, dimaksudkan untuk menentukan angka titik lembek aspal yang berkisar dari 30° sampai 157° dengan cara *Ring and Ball*.

c. Berat Jenis

Didalam mencari nilai berat jenis pada campuran aspal, maka digunakan alat *piknometer*. Perhitungan berat jenis aspal dapat dilihat dari persamaan berikut :

$$\text{Berat Jenis} = \frac{(C-A)}{[(B-A)-(D-C)]} \dots \dots \dots (3.14)$$

dengan,

A = massa piknometer dan penutup

B = massa piknometer dan penutup berisi air

C = massa piknometer, penutup, dan benda uji

D = massa piknometer, penutup, benda uji, dan air

Untuk mencari berat isi benda uji maka digunakan persamaan :

$$\text{Berat isi} = \text{Berat jenis} \times W_T \dots\dots\dots (3.15)$$

dengan,

W_T = berat isi air pada temperatur pengujian

d. Daktilitas

Pada pengujian daktilitas dilakukan pada temperatur $25^\circ\text{C} \pm 0,5^\circ\text{C}$ atau temperatur lainnya dengan cara menentukan jarak pemuluran aspal dalam cetakan pada saat putus setelah ditarik dengan kecepatan 50 mm per menit $\pm 2,5$ mm sehingga akan didapat nilai daktilitas.

e. Titik nyala dan Titik Bakar

Standar untuk menentukan titik nyala dan titik bakar aspal dengan menggunakan alat *cleveland open cup* secara manual dan dapat digunakan untuk semua jenis aspal yang mempunyai titik nyala dalam rentang 79°C sampai dengan 400°C . Untuk perhitungan titik nyala dan titik bakar menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Titik nyala / titik bakar terkoreksi} = C + 0,25(101,3 - K) \dots\dots\dots (3.16)$$

dengan,

C= titik nyala / titik bakar, $^\circ\text{C}$

K= tekanan barometer udara, kPa

E. Metode Pengujian Campuran

Didalam perhitungan rancangan campuran dibutuhkan parameter penunjuk berat, yaitu berat jenis. Analisis berat jenis 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 Aggregate*)

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

Berat jenis kering (*bulk specific gravity*) dari total agregat ditentukan dari:

$$G_{sb \text{ total agregat}} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{sb1}} + \frac{P_2}{G_{sb2}} + \frac{P_3}{G_{sb3}} \dots + \frac{P_n}{G_{sbn}}} \dots \dots \dots (3.17)$$

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

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

Berat jenis semu (*apparent spesific gravity*) dari total agregat dapat dihitung dari:

$$G_{sa \text{ total agregat}} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{sa1}} + \frac{P_2}{G_{sa2}} + \frac{P_3}{G_{sa3}} \dots + \frac{P_n}{G_{san}}} \dots \dots \dots (3.18)$$

dengan,

$G_{sb \text{ total agregat}}$ = Berat jenis kering agregat gabungan (gr/cc)

$G_{sa \text{ total agregat}}$ = Berat jenis semu agregat gabungan (gr/cc)

$G_{sb1}, G_{sb2}, G_{sbn}$ = Berat jenis kering masing-masing agregat 1, 2, 3... n (gr/cc)

$G_{sa1}, G_{sa2}, G_{san}$ = Berat jenis semu masing-masing agregat 1, 2, 3... n (gr/cc)

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

3. Berat Jenis Efektif Total Agregat

Berat jenis efektif total agregat sulit untuk diukur sehingga belum ada standarnya dan selama ini nilainya diperkirakan. Berat jenis efektif dari agregat dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$G_{se \text{ total agregat}} = \frac{G_{sb} - G_{sa}}{2} \dots \dots \dots (3.19)$$

$$G_{se \text{ total agregat}} = \frac{P_{mm} - P_b}{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} + \frac{P_b}{G_b}} \dots \dots \dots (3.20)$$

dengan,

G_{sb} = Berat jenis kering/*bulk spesific gravity* (gr/cc)

G_{sa} = Berat jenis semu/*apparent spesific gravity* (gr/cc)

G_b = Berat jenis aspal (gr/cc)

$G_{se \text{ total agregat}}$ = Berat jenis efektif agregat gabungan (gr/cc)

$G_{se1}, G_{se2} \dots G_{se n}$ = Berat jenis efektif dari masing-masing agregat 1, 2, 3... n

G_{mm} = Berat jenis campuran maksimum teoritis setelah pemadatan (gr/cc)

P_{mm} = Persen berat total campuran (=100)

P_b = Persentase kadar aspal terhadap total campura (%)

4. Volume Campuran dan Berat Jenis Campuran Setelah Pemadatan

Volume campuran setelah pemadatan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$V_{\text{bulk}} = V_{\text{SSD}} - W_{\text{W}} \dots \dots \dots (3.21)$$

Berat jenis campuran setelah pemadatan dapat ditentukan dengan perhitungan berikut:

$$G_{\text{mb}} = \frac{W_{\text{a}}}{V_{\text{bulk}}} \dots \dots \dots (3.22)$$

Berat jenis campuran maksimum teoritis setelah pemadatan (G_{mm})

$$G_{\text{mm}} = \frac{P_{\text{mm}}}{\frac{P_{\text{s}}}{G_{\text{se total agregat}}} + \frac{P_{\text{b}}}{G_{\text{sb total agregat}}}} \dots \dots \dots (3.23)$$

dengan,

V_{bulk} = Volume campuran setelah pemadatan (cc)

P_{mm} = Persen berat total campuran (=100)

P_{s} = Kadar agregat, persen terhadap berat total campuran

P_{b} = Kadar aspal, persen terhadap berat total campuran

W_{a} = Berat dalam air (gr)

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

G_{mm} = Berat jenis campuran maksimum teoritis setelah pemadatan (gr/cc)

F. Karakteristik *Marshall*

Konsep dasar dari karakteristik *Marshall* dalam campuran aspal dikembangkan oleh *Bruce Marshall* seorang insinyur bahan aspal bersama-sama dengan *The Mississippi State Highway Department. The U.S. Army Corp Of Engineers* (Lavin, 2003) melanjutkan penelitian dengan intensif dan mempelajari hal-hal yang ada kaitannya, meningkatkan dan menambah kelengkapan pada prosedur pengujian *Marshall* dan akhirnya mengembangkan rancangan campuran pengujian ini, yang telah distandarisasikan di dalam ASTM D-1559.

Parameter penting yang ditentukan dalam pengujian *Marshall* adalah beban maksimum yang dapat dipikul oleh benda uji sebelum hancur atau yang biasa disebut *Marshall Flow*, serta turunan dari keduanya yang merupakan perbandingan antara *Marshall stability* dengan *Marshall Flow* yang disebut *Marshall Quotient*, yang merupakan nilai kekakuan berkembang (*pseudo stiffness*), yang menunjukkan ketahanan campuran terhadap deformasi *permanent*.

Karakteristik campuran dari lapisan perkerasan dipengaruhi oleh susunan dan kualitas dari bahan-bahan penyusunnya, selain itu proses pelaksanaan dalam pengerjaannya dapat mempengaruhi kualitas campuran. Adapun karakteristik yang harus dimiliki oleh beton aspal campuran panas, antara lain adalah.

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 kedap terhadap air dan udara yang tinggi pula. Nilai kepadatan dari benda uji ini dapat dihitung dengan persamaan :

$$G_{mb} = \frac{W_{mp}}{\frac{W_{mssd}}{\gamma_w} - \frac{W_{mv}}{\gamma_w}} \dots\dots\dots (3.24)$$

dengan,

G_{mb}	= berat volume benda uji (<i>density</i>) (gr/cc)
W_{mp}	= berat kering benda uji sebelum direndam air (gram)
W_{mssd}	= berat benda uji dalam keadaan jenuh air (gram)
W_{mv}	= berat benda uji dalam air (gram)
γ_w	= berat volume air (gr/cc)

2. Rongga antara Mineral Agregat (*Void in the Mineral Agregat, VMA*)

VMA adalah ruang antara partikel agregat pada suatu perkerasan beraspal, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat). Volume rongga yang terdapat antara partikel agregat suatu campuran beraspal yang telah dipadatkan, yaitu rongga udara dan volume kadar aspal efektif, yang dinyatakan dalam persentase terhadap volume total benda uji. Peran VMA penting didalamnya untuk membuat ruang yang cukup bagi aspal untuk membuat campuran yang mempunyai durabilitas yang baik. Jika nilai VMA terlalu besar, dibutuhkan aspal dalam jumlah yang berlebihan untuk mengurangi rongga udara sehingga sesuai standar yang diisyaratkan. Jumlah aspal yang berlebihan di dalam suatu campuran juga dapat membuat stabilitas terganggu (Lavin, 2003).

VMA dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}} \dots \dots \dots (3.25)$$

dengan,

VMA	= <i>Void mineral aggregate</i> (%)
G_b	= Berat jenis agregat (gr/cc)
G_{mb}	= Berat jenis curah campuran padat (gr/cc)
P_s	= Persen agregat terhadap berat total campuran (%)

3. Rongga Udara dalam Campuran (*Void in Mix, VITM*)

VITM adalah persentase volume rongga terhadap volume total campuran setelah dipadatkan, dinyatakan dalam %. VITM digunakan

untuk mengetahui besarnya rongga campuran, demikian sehingga rongga tidak terlalu kecil (menimbulkan *bleeding*) atau terlalu besar (menimbulkan oksidasi / penuaan aspal dengan masuknya udara). Nilai VITM mengalami penurunan dengan penambahan kadar aspal hingga mencapai rongga udara dalam campuran minimum (Lavin, 2003).

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 :

$$VITM = 100 \times \frac{G_{mm} \times G_{mb}}{G_{mm}} \dots\dots\dots (3.26)$$

dengan,

VITM = kadar rongga terhadap campuran (%)

G_{mb} = berat volume benda uji (gr/cc)

G_{mm} = berat jenis maksimum teoritis (gr/cc)

4. Rongga terisi Aspal (*Voids Filled with Asphalt, VFWA*)

VFA ditentukan dari jumlah VMA dan rongga udara di dalam campuran VFWA adalah persentase dari VMA yang terisi oleh aspal, tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat. Nilai VFWA meningkat dengan penambahan kadar aspal (Sukirman, 2013). VFWA merupakan bagian VMA yang terisi aspal, dimana aspal tersebut berfungsi menyelimuti butir-butir agregat dalam campuran agregat aspal padat untuk menghitung VFA dapat digunakan persamaan berikut ini :

$$VFWA = 100 \times \frac{VMA - VITM}{VMA} \dots\dots\dots (3.27)$$

dengan,

VFWA = rongga terisi aspal (%)

VMA = rongga diantara mineral agregat (%)

VITM = rongga di dalam campuran (%)

5. Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan lapis perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk permanen seperti gelombang, alur ataupun bleeding (Sukirman, 2003). Stabilitas tergantung dari gesekan antar agregat dalam campuran dan kohesi. Nilai stabilitas yang terlalu tinggi menyebabkan lapisan menjadi kaku dan cepat mengalami retak, selain itu karena volume rongga antar agregat kurang, mengakibatkan kadar aspal yang dibutuhkan rendah sehingga ikatan aspal dengan agregat mudah lepas dan durabilitasnya rendah. Besarnya stabilitas benda uji didapat dari pembacaan arloji stabilitas alat tekan *marshall* yang dicocokkan dengan kalibrasi *proving ring*nya dalam satuan kilogram (kg). Selanjutnya nilai stabilitas dikoreksi dengan faktor koreksi tebal benda uji.

Formula untuk menghitung nilai stabilitas dapat dihitung juga dengan menggunakan persamaan :

$$O = q \times \text{kalibrasi } \textit{proving ring} \times \text{koreksi tebal benda uji} \dots\dots\dots(3.28)$$

dengan,

O = stabilitas (kg)

q = nilai pembacaan arloji

6. Kelelahan Plastis atau Alir (*Flow*)

Kelelahan adalah bentuk keadaan perubahan bentuk suatu campuran aspal yang terjadi akibat suatu beban, dinyatakan dalam millimeter (mm). Parameter kelelahan diperlukan untuk mengetahui deformasi (perubahan bentuk) vertikal campuran pada saat dibebani hingga hancur (pada saat stabilitas maksimum). Kelelahan akan meningkat seiring meningkatnya kadar aspal (Lavin, 2003).

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

7. *Marshall Quotient (MQ)*

MQ adalah hasil bagi dari stabilitas dengan kelelahan yang dipergunakan untuk pendekatan terhadap nilai 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 repetisi beban lalu lintas. Sebaliknya nilai MQ yang terlalu rendah menunjukkan campuran terlalu fleksibel yang mengakibatkan perkerasan mudah berubah bentuk bila menahan beban lalu lintas.

Marshall Quotient dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$MQ = \frac{MS}{MF} \dots\dots\dots (3.29)$$

dengan,

MQ = *Marshall Quotient* (kg/mm)

MS = *Marshall Stability* (kg)

MF = *Flow Marshall* (mm)

8. *Penyerapan Aspal*

Penyerapan aspal adalah aspal yang diserap agregat dinyatakan dalam persen terhadap berat agregat, dimana untuk mendapatkan penyerapan aspal dapat dipergunakan persamaan berikut :

$$P_{ba} = 100 \times \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb} - G_{se}} \dots\dots\dots (3.30)$$

dengan,

P_{ba} = penyerapan aspal (%)

G_{se} = berat jenis efektif agregat (gr/cc)

G_{sb} = berat jenis curah agregat (gr/cc)

G_b = berat jenis aspal (gr/cc)

9. Kadar Aspal Efektif

Kadar aspal efektif adalah kadar aspal total dikurangi jumlah aspal yang diserap dalam partikel agregat. Untuk menghitung kadar aspal efektif dapat digunakan persamaan :

$$P_{be} = P_b - \frac{P_{ba}}{100} \times P_s \dots\dots\dots (3.31)$$

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 berat total campuran

P_{bs} = penyerapan aspal, persentase agregat

G. Kadar Aspal Optimum (KAO)

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 kadar aspal dengan kepadatan (*density*), kadar aspal dengan *void mineral aggregate*(VMA), kadar aspal dengan *voids in the mix* (VITM), kadar aspal dengan *voids with aggregate* (VFWA), kadar aspal dengan stabilitas, kadar aspal dengan *flow*, kadar aspal dengan *Marshall Quotient* (MQ).

Kadar aspal optimum yang baik adalah kadar aspal yang memenuhi sifat campuran yang diinginkan dengan rentang kadar aspal optimum lebih besar 0,5%.

Persyaratan karakteristik campuran Lataston yang diuji *Marshall* harus memenuhi persyaratan yang ditentukan. Berdasarkan spesifikasi umum Bina Marga edisi 2010 revisi 3 persyaratan campuran Lataston dapat dilihat pada Tabel 3.6.

Tabel. 3.6. Ketentuan sifat-sifat campuran HRS-WC

Sifat-sifat Campuran			HRS-WC			
			Lapis Aus		Lapis Pondasi	
Keterangan	satuan	Min/mak	Senjang	Semi Senjang	Senjang	Semi Senjang
Kadar aspal efektif	%	Min.	5,9	5,9	5,5	5,5
Penyerapan aspal	%	Maks.	1,7			
Jumlah tumbukan perbidang	-	-	75			
Rongga dalam campuran	%	Min.	4,0			
		Maks.	6,0			
Rongga dalam agregat	%	Min.	18	17		
Rongga terisi aspal		Min.	68			
Stabilitas Marshall	Kg	Min.	800			
Pelelehan	Mm	Min.	3			
Marshall Quotient	kg/mm	Min.	250			
Stabilitas Marshall sisa setelah perendaman selama 24 jam, 60°C	%	Min.	90			
Rongga dalam campuran pada kepadatan membal (refusal)	%	Min.	3			

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga Edisi 2010 (Revisi 3)

