

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Split Mastic Asphalt* (SMA)

Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia tentang Jalan No. 34/2006.

Jalan adalah sebagai salah satu prasarana transportasi dalam kehidupan bangsa, kedudukan dan peranan jalan ringan jalan pada hakikatnya menyangkut hajat hidup orang serta menendalikan struktur pengembangan wilayah pada tingkat nasional terutama yang menyangkut perwujudan perkembangan antar daerah yang seimbang dan pemerataan hasil-hasil pembangunan serta peningkatan pertanahan dan keamanan Negara.

Perkerasan jalan merupakan bagian dari konstruksi jalan yang terdiri dari beberapa lapisan atau susunan, terletak pada suatu landasan atau tanah dasar yang diperuntukkan bagi jalur lalu lintas dan harus cukup kuat untuk memenuhi dua syarat utama yaitu :

1. Syarat berlalu lintas seperti permukaan jalan tidak bergelombang, tidak melendut, tidak berlubang, cukup kuat, dan tidak mengkilap. Selain itu jalan harus dapat menahan gaya gesekan atau keausan terhadap roda-roda kendaraan.
2. Syarat kekuatan/struktural yang secara keseluruhan perkerasan jalan harus cukup kuat untuk memikul dan menyebarkan beban lalu lintas yang melintas di atasnya. Selain itu harus kedap air, permukaan mudah mengalirkan air serta mempunyai ketebalan cukup.

Penelitian ini menggunakan campuran beraspal panas tipe *Split Mastic Asphalt* (SMA) sebagai tipe perkerasan jalan yang akan diteliti di laboratorium. *Split Mastic Asphalt* (SMA) terdiri dari 3 Jenis yaitu *Split Mastic Asphalt* (SMA) Tipis,

Split Mastic Asphalt (SMA) Halus dan *Split Mastic Asphalt* (SMA) Kasar, dengan ukuran maksimum masing – masing campuran adalah 12,5 mm, 19 mm dan 25 mm. Setiap campuran SMA yang menggunakan bahan aspal *polymer* disebut masing masing sebagai SMA Modifikasi baik tipis, halus maupun kasar. *Stone Matrix Asphalt* dan *Split Mastic Asphalt* merupakan campuran yang sama namun berbeda dipenamaannya saja.

Split Mastic Asphalt (SMA) adalah beton aspal bergradasi terbuka dengan selimut aspal yang tebal. Campuran ini menggunakan bahan tambahan berupa fiber selulosa yang berfungsi untuk menstabilisasi kadar aspal yang tinggi. Lapisan ini terutama digunakan untuk lalu lintas dengan beban berat (Sukirman, 2003:111).

Penggunaan agregat kasar dengan persentase yang tinggi mengakibatkan agregat saling mengunci (*interlocking*) sehingga menghasilkan campuran aspal yang tahan terhadap *rutting*. Campuran beraspal panas *Split Mastic Asphalt* (SMA) terisi oleh agregat kasar yang saling mengunci (*interlocking*) sedangkan pada *Hot Mix Asphalt* (HMA) agregat terlihat seperti mengemping didalam campuran. Oleh karena itu campuran beraspal panas *Split Mastic Asphalt* (SMA) dengan kandungan agregat kasar dapat memberikan ketahanan terhadap alur atau *rutting* dibanding dengan campuran *Hot Mix Asphalt* (HMA) (Robets, 1996).

Klasifikasi *Split Mastic Asphalt* (SMA) terdiri dari 3 jenis berdasarkan ukuran agregat (Khairudin, 1990), diantaranya :

1. SMA 0/11, dengan ukuran 0 – 11 mm, umumnya digunakan untuk lapisan *wearing course* pada jalan baru. Pengaspalan dengan ketebalan 2,5 – 5 cm.

2. SMA 0/8, dengan ukuran 0 – 8 mm, umumnya digunakan untuk pelapisan ulang (*overlay*) pada jalan lama. Pengaspalan dengan ketebalan 2 – 4 cm.
3. SMA 0/5, dengan ukuran 0 – 5 mm, umumnya digunakan untuk pelapisan permukaan untuk pemeliharaan dan perbaikan jalan. Pengaspalan dengan ketebalan 1,5 – 3 cm.

Tabel 2.1 Ketentuan Sifat-Sifat Campuran *Split Mastic Asphalt*

Sifat – Sifat Campuran		SMA	SMA Mod
		Tipis, Halus dan Kasar	Tipis, Halus dan Kasar
Jumlah tumbukan Per bidang		50	
Rongga dalam campuran (%)	Min.	4,0	
	Maks.	5,0	
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Min.	17	
Rasio VCA_{mix}/VCA_{drc}		<1	
Draindown pada temperatur produksi, % berat dalam campuran (waktu 1 jam)	Maks	0,3	
Stabilitas <i>Marshall</i> (Kg)	Min	600	750
Pelelehan (mm)	Min	2	
	Maks	4,5	
Stabilitas <i>Marshall</i> sisa (%) Setelah perendaman selama 24 jam, 60°C	Min	90	
Stabilitas dinamis (lintasan/mm)	Min	2500	3000

Sumber : Spesifikasi Umum 2018, Bina Marga.

2.1.1 Bahan Campuran Perkerasan

Bahan campuran perkerasan terdiri dari campuran agregat dan selebihnya adalah bahan pengikat (*bitumen*). Campuran agregat terdiri dari agregat kasar, agregat halus dan *filler*.

2.1.1.1 Agregat

Menurut (Sukirman, 1999) agregat merupakan komponen utama dari lapisan perkerasan jalan yang mengandung 90 -95% agregat berdasarkan

persentase Berat 75-85% agregat berdasarkan persentase volume. Dengan demikian kualitas dari sebuah campuran beraspal mencakup daya dukung, keawetan dan mutu perkerasan dapat ditentukan dari kualitas agregat yang dipakai.

Berdasarkan sumber asalnya, agregat dibedakan menjadi agregat alam dan agregat buatan.

1. Agregat alam, yaitu agregat yang berasal dari alam tanpa pengolahan terlebih dahulu, pada umumnya adalah dari batu alam, baik dari batuan beku, batuan endapan atau batuan sedimen maupun dari batuan *metamorph* (malihan).
2. Agregat buatan. Agregat ini sengaja dibuat, contohnya ALWA (*Artificial light weight aggregate*) atau di Indonesia dikenal dengan nama “Lempung bekah”. Agregat ini dibuat dengan membakar jenis lempung tertentu, sehingga membentuk agregat yang mengembang atau membesar. Agregat ini termasuk agregat ringan, karena memiliki berat jenis ± 1.0 . Pemakaian lempung bekah untuk konstruksi adalah untuk pembuatan beton ringan.

Berdasarkan ukurannya, agregat dibagi menjadi agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi/*filler*. Ukuran ditentukan dari lolos dan tertahannya pada nomor saringan gradasi.

1. Agregat halus, yaitu agregat yang lolos saringan No. 4 dan tertahan saringan No. 200. Agregat halus harus terdiri dari bahan-bahan yang berbidang kasar, bersudut tajam dan bersih dari kotoran-kotoran atau bahan-bahan lain yang tidak dikehendaki.

2. Agregat kasar, yaitu agregat yang tertahan pada saringan No. 4. Agregat harus terdiri dari batu pecah atau kerikil pecah yang bersih, kering kuat, awet, dan bebas dari bahan lain yang mengganggu.
3. *Filler* merupakan sekumpulan mineral agregat yang umumnya lolos saringan No. 200. Bahan pengisi yang dapat dipergunakan antara lain : abu batu, kapur, debu dolomit atau semen.

Tabel 2.2 Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian		Metoda 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%
Kelekatan terhadap aspal		SNI 2439:2011	Min 95%
Batu pecah pada agregat kasar	SMA	SNI 7619:2012	100/90
	Lainnya		95/90
Partikel pipih dan lojong	SMA	ASTM D4791-10 Perbandingan 1:5	Maks 5%
	Lainnya		Maks 10%
Material Lolos Ayakan No. 200		SNI ASTM C117:2012	Maks 1%

Sumber : Spesifikasi Umum 2018, Bina Marga.

Tabel 2.3 Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Metoda Pengujian	Nilai
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-1997	Min 50%
Uji Kadar Rongga 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 2018, Bina Marga.

Sifat dan kualitas agregat menentukan daya tahan dan stabilitas perkerasan dalam menahan beban lalu lintas. Menurut (Sukirman, 1999) Agregat dengan

kualitas dan sifat yang baik dibutuhkan untuk lapis permukaan yang langsung memikul beban lalu lintas dan menyebarkan ke lapisan dibawahnya. Pengaruh kualitas dan sifat dapat dikelompokkan menjadi :

1. Kekuatan dan keawetan yang dipengaruhi oleh :
 - a. Gradasi
 - b. Ukuran maksimum
 - c. Kadar lempung
 - d. Kekerasan
 - e. Bentuk butir
 - f. Tekstur permukaan
2. Kemampuan yang dilapisi dengan aspal yang baik dipengaruhi oleh :
 - a. Porositas
 - b. Bentuk butir
 - c. Jenis agregat
3. Kemudahan dalam pelaksanaan dan menghasilkan lapisan yang nyaman dan aman dipengaruhi oleh:
 - a. Tahanan geser (*skid resistance*)
 - b. Campuran yang memberikan kemudahan dalam pelaksanaan (*bituminous mix workability*)
 - c. Gradasi Agregat

Gradasi berdasarkan ukuran agregat berpengaruh pada stabilitas perkerasan. Gradasi agregat diperoleh dari hasil analisa saringan menggunakan 1

set saringan dimana saringan yang paling besar disamping dipaling atas menyusun hingga saringan terkecil. Gradasi dibedakan atas :

1. Gradasi Seragam (*uniform graded*) adalah agregat dengan ukuran yang hampir sama/ sejenis, atau menggunakan agregat halus lebih sedikit yang mengakibatkan tidak dapat maksimal mengisi rongga antar agregat. Gradasi ini juga sering disebut dengan gradasi terbuka, agregat dengan gradasi seragam akan menghasilkan lapisan perkerasan dengan sifat permeabilitas tinggi, stabilitas yang kurang berat volume kecil.
2. Gradasi Rapat (*dense graded*) adalah gradasi yang diisi oleh campuran agregat kasar dan halus yang seimbang sehingga sering disebut juga sebagai gradasi menerus atau gradasi baik (*well graded*). Agregat dengan gradasi rapat akan menghasilkan lapisan perkerasan dengan stabilitas yang tinggi, kurang kedap air, sifat drainase jelek dan berat volume besar.
3. Gradasi Senjang (*gap graded*) adalah gradasi dimana ukuran yang ada tidak lengkap atau fraksi agregat yang tidak ada atau jumlahnya sedikit sekali. Agregat dengan gradasi ini akan menghasilkan lapisan perkerasan yang mutunya terletak pada antara agregat seragam dan agregat rapat.

Gradasi agregat berpengaruh pada tipe campuran beraspal panas yang akan dipakai. Tipe yang akan dipakai memiliki standar gradasi yang telah disyaratkan oleh spesifikasi umum bina marga tahun 2018. Berikut adalah amplop gradasi untuk masing - masing tipe campuran :

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
1½"	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
⅜"	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 2018, Bina Marga.

Pemeriksaan agregat dilakukan untuk mengetahui kualitas dan sifat agregat tersebut . Pemeriksaan dilakukan dengan memperhatikan syarat dan ketentuan yang berlaku. Syarat dan ketentuan mengacu pada SNI dan ketentuan dari Bina Marga. Pemeriksaan yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat

Pengukuran berat jenis agregat diperlukan untuk perencanaan campuran agregat dengan aspal, campuran ini berdasarkan perbandingan berat karena lebih teliti dibandingkan perbandingan volume dan juga untuk menentukan banyaknya pori agregat. Pengukuran hasil berat jenis agregat ini sering dipakai untuk mengekspresikan nilai *Density*/kepadatan agregat, dimana nilai kerapatan agregat diperoleh dengan mengalikan nilai berat jenis agregat dengan kerapatan air pada suhu standar dipakai untuk pengukuran.

2. Pengujian Kekuatan gregat Terhadap Tumbukan (*Agregate Impact Value*)

Metode yang telah dikembangkan untuk menguji kekuatan batuan terhadap beban sudah banyak dilakukan, khususnya beban lalu lintas. Salah

satunya adalah dengan melakukan simulasi pemberian beban terhadap suatu sampel agregat, misalnya beban tumbukan (*Impact*). Biasanya beban tumbukan ini di kombinasikan dengan beban tekanan (*Crushing*) baik dalam arah lateral maupun aksial. Nilai *Aggregate Impact Value* (VIM) adalah presentase perbandingan antara agregat yang hancur dengan sampel yang ada. Agregat yang hancur dinyatakan dengan jumlah agregat yang lolos saringan 2,36 mm. Berdasarkan *British* Standar maka agregat yang mempunyai nilai $AIV > 30\%$ dinyatakan tidak normal dan nilai AIV ini menunjukkan jumlah agregat yang hancur cukup besar, berarti sampel tersebut relatif tidak terlalu kuat terhadap beban tekan.

3. Pengujian Kekuatan Agregat Terhadap Tekanan (*Aggregate Crushing Value*)

Percobaan ACV atau *Aggregate Crushing Value* merupakan simulasi pemberian beban terhadap suatu sampel agregat. Prinsip percobaan disini adalah sampel agregat diberikan kenaikan tekanan tertentu selama 11 beberapa waktu. Agregat yang hancur kemudian ditimbang dan dibandingkan dengan berat semula. Perbandingan ini merupakan nilai dari ACV.

4. Pengujian Keausan Agregat dengan Alat Abrasi *Los Angeles*

Durabilitas atau ketahanan terhadap kerusakan sangat berpengaruh terhadap kebutuhan akan jumlah agregat. Beberapa agregat yang memiliki kekuatan standar pun akan mengalami kerusakan saat di *Stockpile* atau saat masa layanan di jalan. Prinsip pengujian *Los Angeles* adalah pengukuran perontakan agregat dari gradasi standarnya akibat kombinasi abrasi atau atrisi, tekanan, dan penggilasan dalam drum baja

Ketika drum baja berputar, bilah baja yang ada di dalamnya, mengangkat sample dan bola baja, membawanya berputar dan kembali jatuh, mengakibatkan efek tumbuk-tekan/*Impact-Crushing* pada sampel.

5. Indeks Kepipihan dan Kelonjongan (*Flakiness and Elongation Index*)

Batuan alam maupun hasil crushing plant terdapat fraksi-fraksi agregat berbagai macam bentuk. British Standard Institution, BSI, (1975) membagi bentuk-bentuk agregat menjadi 6 kategori: Bulat (*rounded*), tidak beraturan (*irregular*), bersudut (*angular*), pipih (*flaky*), lonjong (*elongated*), pipih dan lonjong (*flaky and elongated*).

Pengujian ini bertujuan untuk menilai secara kumulatif distribusi agregat yang berbentuk pipih (*flaky*) dan lonjong (*elongated*), yang dinyatakan dengan indeks kepipihan dan kelonjongan.

6. Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Halus (*Sand Equivalent Test*)

Pengujian ini bertujuan untuk memeriksa kadar lumpur dalam bahan agregat halus serta mengetahui perbandingan relatif antara bahan yang merugikan dengan bahan agregat halus.

Agregat yang kita gunakan tidak sepenuhnya bersih sehingga dengan kata lain sering terdapat zat-zat yang tidak diinginkan, yang dapat merugikan perkerasan aspal. Kebersihan agregat seringkali ditentukan dengan perkerasan visual tetapi dengan pemeriksaan di laboratorium akan lebih memberikan hasil positif tentang bersih-tidaknya agregat, terutama pada agregat-agregat bergradasi halus.

7. Pengujian Kelekatan Agregat Terhadap Aspal (*Affinity for Bitumen*)

Pengujian ini bertujuan untuk menguji besarnya kelekatan agregat terhadap aspal dengan cara visual. Kelekatan aspal terhadap agregat dipengaruhi oleh hal-hal sebagai berikut:

- 1) Pori-pori dan absorpsi
- 2) Agregat berpori berguna untuk menyerap aspal sehingga ikatan antara aspal dan agregat baik. Tetapi terlalu banyak pori mengakibatkan terlalu banyak aspal yang terserap yang berakibat lapisan aspal menjadi tipis
- 3) Bentuk dan tekstur permukaan
- 4) Agregat berbentuk kubus dan kasar lebih baik mengikat aspal daripada agregat berbentuk bulat dan halus. Permukaan agregat yang kasar akan memberikan ikatan dengan aspal lebih baik.
- 5) Ukuran butiran

2.1.1.2 Aspal

Aspal merupakan material perkerasan berwarna hitam pekat dengan unsur utama bitumen. Aspal memiliki karakteristik padat sampai agak padat, dan bersifat termoplastis. Jadi, aspal akan mencair bila dipanaskan pada temperatur tertentu dan akan kembali padat bila temperatur turun. Bersama dengan agregat, aspal merupakan material pembentuk campuran perkerasan jalan. Kadar aspal yang digunakan dalam campuran beton aspal berkisar antara 4% - 10% terhadap berat campuran, atau 10% - 15% berdasarkan volume campuran (Sukirman, 2003).

Berdasarkan bentuknya pada temperatur ruang, aspal minyak dibedakan menjadi aspal keras, aspal cair dan aspal emulsi. Aspal keras/panas (*Asphalt Cement*) adalah aspal yang digunakan dalam keadaan cair dan panas serta penyimpanannya dalam bentuk padat pada temperatur ruang antara 25°C - 30°C. *Asphalt Cement* dengan penetrasi rendah dipakai untuk daerah yang memiliki cuaca panas atau volume lalu lintasnya tinggi, sedangkan *Asphalt Cement* dengan penetrasi tinggi dipakai untuk daerah dingin atau volume lalu lintasnya rendah (Tahir, 2009). Di Indonesia umumnya dipakai aspal penetrasi 60/70 sebagai bahan ikat perkerasan jalan lentur. Ketentuan untuk aspal padat menurut Spesifikasi Umum Bina Marga dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 2.5 Ketentuan untuk Aspal Padat

Jenis Pengujian	Metoda	Aspal Pen
Penetrasi pada 25°C (0.1 mm)	SNI 06-2456-1991	60 - 70
Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥ 48
Daktalitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100
Titik Nyala (°C)	SNI 2433:2011	≥ 232
Kelarutan dalam <i>Trichloroethylene</i> (%)	AASHTO T44-03	≥ 99
Berat Jenis	SNI 2441:2011	≥ 1,0

Sumber : Spesifikasi Umum 2018, Bina Marga

Berdasarkan asal dan proses pembentukannya aspal diklasifikasikan berdasarkan:

1. Aspal alam dibedakan menjadi:
 - a. Aspal gunung (*rock asphalt*), contohnya aspal dari pulau buton.
 - b. Aspal danau (*lake asphalt*), contohnya aspal dari bermudez, trinidad.
2. Aspal buatan, dibedakan menjadi:

- a. Aspal minyak, merupakan hasil penyulingan dari minyak bumi
- b. Tar, merupakan hasil penyulingan batu bara.

Aspal minyak dapat dibedakan menjadi:

1) Aspal keras/panas (*asphalt cement*), adalah aspal yang digunakan dalam keadaan cair atau dingin. Aspal ini berbentuk padat pada keadaan penyimpanan (temperatur ruangan)

2) Aspal dingin/cair (*cut back asphalt*), aspal ini digunakan dalam keadaan cair dan dingin. Aspal dingin adalah campuran pabrik antara aspal panas dengan bahan pengencer dari hasil penyulingan minyak bumi.

Berdasarkan bahan pengencer dari kemudian menguap, bahan pelarutnya, aspal dingin dibedakan menjadi:

- Jenis RC (*rapid curing*) : bahan pengencer minyak tanah (kerosene) dengan MC0 sampai MC5.

- Jenis SC (*slow curing*) : bahan pengencer solar dengan SC0 sampai SC5.

3. Aspal emulsi (emulsion asphalt)

Disediakan dalam bentuk emulsi, dapat digunakan dalam keadaan dingin.

Dibedakan menjadi dua jenis emulsi:

- a. Kationik (aspal emulsi asam), emulsi bermuatan arus listrik positif.
- b. Anionik (aspal emulsi alkali), emulsi bermuatan arus listrik negatif.

Berdasarkan bahan emulsifier ditambah air, dibedakan:

a. Tipe RS (*rapid setting*) : RS1

b. Tipe MS (*medium setting*) : MS1 sampai MS5

c. Tipe SS (*slow setting*) : SS1

4. Aspal modifikasi polimer

Aspal modifikasi adalah aspal minyak yang ditambah dengan berapaditif, dengan maksud untuk meningkatkan kinerjanya. Saat ini terdapat berbagai macam aspal modifikasi yang salah satunya dibuat dengan campuran polimer (dikenal sebagai aspal polimer; *Polymer Modified Asphalt* (PMA); *Polimer Modified Bitumen* (PMB). Dengan menggunakan aspal polimer diharapkan kinerja pelayanan perkerasan beraspal yang semakin baik. Salah satu peran utama polimer/elastomer dalam aspal polimer adalah untuk meningkatkan ketahanan aspal terhadap deformasi permanen pada temperatur tinggi tanpa merugikan sifat aspal atau bitumen pada temperatur lainnya. Hal ini dapat dicapai melalui pengurangan regangan permanen. Mekanisme pengurangan regangan diperoleh melalui dua cara yakni pertama dengan membuat aspal lebih kaku sehingga repon total viskositas-elastis berkurang, dan kedua dengan meningkatkan komponen elastis bitumen sehingga mengurangi komponen viskosnya.

Aspal harus memiliki karakteristik tertentu sebagai bahan campuran dalam perkerasan. Karakteristik aspal yang harus dimiliki adalah sebagai berikut:

1. Daya tahan (*durability*)

Daya tahan aspal adalah kemampuan aspal mempertahankan sifat asalnya akibat pengaruh cuaca selama masa pelayanan jalan. Sifat ini merupakan sifat dari campuran aspal, jadi tergantung dari sifat agregat, campuran dengan aspal, faktor pelaksanaan, meskipun demikian sifat ini dapat diperkirakan dari pemeriksaan *Thin Film Oven Test* (TFOT).

2. Adhesi dan kohesi

Adhesi yaitu ikatan antara aspal dan agregat pada campuran aspal beton. Sifat ini dievaluasi dengan menguji spesimen dengan test stabilitas *Marshall*. Kohesi adalah ketahanan aspal untuk tetap mempertahankan agregat tetap ditempatnya setelah terjadi pengikatan.

3. Kepekaan terhadap temperatur

Aspal adalah bahan yang termoplastis, berarti akan menjadi kasar atau lebih kental jika temperatur berkurang dan akan lunak jika temperaturnya naik/bertambah.

4. Kekerasan aspal

Aspal pada proses pencampuran dipanaskan dan dicampur dengan agregat sehingga dilapisi aspal atau disiramkan ke permukaan agregat yang telah dipisahkan pada proses pelaburan. Pada proses pelaksanaan, terjadi oksidasi yang menyebabkan aspal menjadi getas. Peristiwa perapuhan terus berlangsung selama masa pelaksanaan. Jadi, selama masa pelaksanaan aspal mengalami proses oksidasi yang besar yang dipengaruhi oleh ketebalan aspal yang menyelimuti agregat. Semakin tipis lapisan aspal, semakin besar tingkat kerapuhan yang terjadi.

Sifat-sifat aspal harus selalu diperiksa dan aspal yang memenuhi syarat yang telah ditetapkan dapat dipergunakan sebagai bahan pengikat perkerasan lentur. Pemeriksaan yang dilakukan untuk aspal keras adalah sebagai berikut:

1. Pemeriksaan Penetrasi Aspal

Pemeriksaan penetrasi aspal bertujuan untuk memeriksa tingkat kekerasan aspal. Pengujian dilaksanakan pada suhu 25°C dan kedalaman penetrasi diukur setelah beban dilepaskan selama 5 detik.

2. Pemeriksaan Titik Lembek (*Softening Point Test*)

Pemeriksaan titik lembek bertujuan untuk mengetahui kepekaan aspal terhadap temperatur. Suhu pada saat aspal mulai menjadi lunak tidaklah sama pada setiap hasil produksi aspal walaupun mempunyai nilai penetrasi yang sama. Titik lembek adalah suhu rata-rata (dengan beda suhu $\geq 1^\circ\text{C}$) pada saat bola baja menembus aspal karena leleh dan menyetuh plat dibawahnya (sejarak 1 in ch = 25,4 mm). pengujian dilaksanakan dengan alat “ *Ring and Ball Apparatus* ”. Manfaat dari pengujian titik lembek ini adalah digunakan untuk menentukan temperatur kelelahan dari aspal.

3. Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar

Pemeriksaan titik nyala dan titik bakar bertujuan untuk menentukan suhu pada aspal terlihat nyala singkat di permukaan aspal (titik nyala) dan suhu pada saat terlihat nyala sekurang-kurangnya 5 detik. Titik nyala dan titik bakar perlu diketahui untuk memperkirakan temperatur maksimum pemanasan aspal sehingga aspal tidak terbakar.

4. Pemeriksaan Kehilangan Berat Aspal

Pemeriksaan dilakukan bertujuan untuk mengetahui pengaruh berat akibat penguapan bahan-bahan yang mudah menguap dalam aspal. Penurunan berat menunjukkan adanya komponen aspal yang menguap yang dapat berakibat aspal

mengalami pengerasan yang ekksesif/berlebiha n sehingga menjadi getas (rapuh) bila pengurangan berat melebihi syarat maksimumnya. Pengujian ini dilanjutkan dengan 21 pengujian nilai penetrasi aspal, untuk mengetahui peningkatan kekerasannya (dalam% penetrasi semula).

5. Pemeriksaan Daktilitas Aspal

Tujuan dari pemeriksaan ini untuk mengetahui dari sifat kohesi dalam aspal itu sendiri yaitu dengan mengukur jarak terpanjang yang dapat ditarik antara dua cetakan yang berisi aspal keras sebelum terputus, pada suhu 25°C dan kecepatan tarik 5cm/menit. Aspal dengan daktilitas yang lebih besar mengikat butir-butir agregat yang lebih baik tetapi lebih peka terhadap perubahan temperatur .

6. Pemeriksaan Berat Jenis Aspal

Berat jenis aspal adalah perbandingan antara berat jenis dan berat air suling dengan isi yang sama pada suhu tertentu, 25°C. data berat jenis aspal dipergunakan untuk perhitungan dalam perencanaan dan evaluasi sifat campuran aspal beton (perhitungan Sgmix dan porositas).

7. Pemeriksaan Viskositas

Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan tingkat kekentalan (viskositas) aspal keras dengan menggunakan alat *saybolt viscosimeter* dan aspal cair dengan menggunakan alat Engler. Tingkat material bitumen dan suhu yang digunakan sangat tergantung pada kekentalannya. Kekentalan bitumen sangat bervariasi terhadap suhu, dari tingkatan padat, encer sampai cair. Hubungan antara

kekentalan dan suhu sangat penting dalam perencanaan dan pengaliran material bitumen.

2.1.1.3 Bahan Tambah (*Additive*)

Kandungan aspal yang tinggi memerlukan suatu stabilisasi dengan bahan tambah. Bahan tambah yang biasanya digunakan dalam campuran *Split Mastic Asphalt* (SMA) umumnya menggunakan serat selulosa sintesis. Bahan tambah tersebut berfungsi untuk menstabilkan aspal serta meningkatkan durabilitas campuran beton aspal. Bahan tambah yang ditambahkan kedalam campuran sekitar 0,3% terhadap total campuran.

2.1.1.4 Pasir Laut

Keberadaan pasir laut sangat berlimpah di Indonesia yang merupakan negara kepulauan. Pasir laut merupakan bahan baku yang pemanfaatannya belum banyak dikembangkan dibidang konstruksi. Memiliki kandungan garam didalam pasir menjadikannya sulit untuk dimanfaatkan. Secara umum pasir laut dapat dibedakan atas dua kondisi yaitu pasir laut yang tidak dipengaruhi pasang surut air laut dan pasir yang terendam oleh air laut.

Pasir laut yang tidak dipengaruhi pasang surut air laut yaitu pasir laut yang terdampar ±50 meter dari air pasang dan tidak akan tergenang kembali. Pasir laut yang tidak dipengaruhi air pasang ini memiliki kadar garam yang lebih rendah dari pasir laut yang terendam oleh air laut. Akan tetapi, bahan – bahan kimia dan limbah dalam pasir yang tidak dipengaruhi pasang surut air laut lebih banyak daripada yang terendam air laut.

Pasir laut yang Indonesia miliki mengandung banyak kandungan besi. Pada umumnya pasir laut mengandung besi oksida (Fe_2O_3) dan silikon oksida (SiO_2) serta senyawa lain dengan kadar yang lebih rendah. Seperti di daerah Kabupaten Tasikmalaya tepatnya di Pantai Cipatujah. Kandungan besi ini banyak dimanfaatkan untuk menghasilkan bijih besi. Pasir laut sendiri memiliki kesamaan dengan agregat halus yang sering dipakai yaitu abu batu, memiliki butiran gradasi lolos saringan no. 4 dan tertahan no. 200.

2.1.2 Campuran Beraspal Panas

Campuran beraspal panas (*Hot Mixed*) adalah campuran yang terdiri atas kombinasi agregat yang dicampur dengan aspal sedemikian rupa sehingga permukaan agregat terselimuti aspal dengan seragam. Dalam mencampur dan mengerjakannya, keduanya dipanaskan pada temperatur tertentu. Material pembentukannya dicampur pada suhu pencampuran sekitar 140 (Sukirman, 2003 : 108).

Perkerasan jalan raya harus memenuhi karakteristik tertentu sehingga didapatkan hasil yang kuat, awet dan nyaman untuk melayani lalu lintas. Menurut Sukirman (2007), terdapat tujuh karakteristik campuran yang harus dimiliki oleh beton aspal adalah stabilitas (*stability*), keawetan (*durability*), kelenturan (*flexibility*), ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue resistance*), ketahanan geser permukaan atau ketahanan geser (*skid resistance*), kedap air dan kemudahan pelaksanaan (*workability*).

2.3.2.1 Stabilitas (*Stability*)

Stabilitas lapisan perkerasan jalan adalah kemampuan lapisan perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur ataupun *bleeding*. Kebutuhan akan stabilitas setingkat dengan jumlah lalu lintas dan beban kendaraan yang akan memakai jalan tersebut.

2.3.2.2 Keawetan (*Durability*)

Durabilitas diperlukan pada lapisan permukaan sehingga lapisan dapat mampu menahan keausan akibat pengaruh cuaca, air, dan perubahan suhu ataupun keausan akibat gesekan roda kendaraan. Faktor yang mempengaruhi durabilitas lapis aspal beton adalah:

1. VIM kecil sehingga lapis kedap air dan udara tidak masuk ke dalam campuran yang menyebabkan terjadinya oksidasi dan aspal menjadi rapuh (getas).
2. VMA besar sehingga film aspal dapat dibuat tebal. Jika VMA dan VIM kecil serta kadar aspal tinggi maka kemungkinan terjadinya *bleeding* cukup besar, untuk mencapai VMA yang besar ini digunakan agregat bergradasi senjang.
3. *Film* (selimut) aspal, *film* aspal yang tebal dapat menghasilkan lapis aspal beton yang durabilitas tinggi, tetapi kemungkinan terjadinya *bleeding* menjadi besar.

2.3.2.3 Kelenturan (*Flexibility*)

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

2.3.2.4 Kekesatan (*Skid Resistance*)

Tahanan geser adalah kekesatan yang diberikan oleh perkerasan sehingga kendaraan tidak mengalami slip baik di waktu hujan (basah) maupun di waktu kering. Kekesatan dinyatakan dengan koefisien gesek antara permukaan jalan dengan roda kendaraan.

2.3.2.5 Ketahanan Kelelahan (*Fatigue Resistance*)

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

2.3.2.6 Kedap Air

Kemampuan beton aspal untuk tidak dapat dimasuki air ataupun udara lapisan beton aspal. Air dan udara dapat mengakibatkan percepatan proses penuaan aspal dan pengelupasan selimut aspal dari permukaan agregat.

2.3.2.7 Kemudahan Pelaksanaan (*Workability*)

Kemudahan pelaksanaan adalah mudahnya suatu campuran untuk dihampar dan dipadatkan sehingga diperoleh hasil yang memenuhi kepadatan yang diharapkan. Workability ini dipengaruhi oleh gradasi agregat. Agregat bergradasi baik lebih mudah dilaksanakan daripada agregat bergradasi lain.

2.2 Analisis Perbandingan

Perencanaan campuran aspal panas termasuk aspal porus dilaksanakan dengan mengacu kepada spesifikasi yang ditentukan. Rancangan campuran berdasarkan metode *Marshall* ditemukan oleh Bruce Marshall, dan telah

distandarisasi oleh ASTM atau AASHTO melalui beberapa modifikasi, yaitu ASTM D 1559 -76, atau AASHTO T -245-90. Prinsip dasar metode *Marshall* adalah pemeriksaan stabilitas dan keelehan (*flow*), serta analisis kepadatan dan pori dari campuran padat yang terbentuk. Alat *Marshall* merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan *proving ring* (cincin pengujian) berkapasitas 22,2 KN (5000 lbs) dan *flowmeter*. *Proving ring* digunakan untuk mengukur nilai stabilitas, dan *flowmeter* untuk mengukur keelehan plastis atau *flow*. Benda uji *Marshall* berbentuk silinder berdiameter 4 inchi (10,2 cm) dan tinggi 2,5 inchi (6,35 cm).

Kinerja beton aspal padat dapat ditentukan melalui pengujian benda uji meliputi :

1. Penentuan berat volume benda uji.
2. Pengujian nilai stabilitas adalah kemampuan maksimum beton aspal padat menerima beban sampai terjadi keelehan plastis.
3. Pengujian keelehan (*flow*) adalah besaran perubahan bentuk plastis dari beton aspal padat akibat adanya beban sampai batas keruntuhan.
4. Perhitungan kounsien marshall adalah perbandingan antara nilai stabilitas dan *flow*.
5. Perhitungan berbagai jenis volume pori dalam beton aspal padat (VIM dan VMA).

Prosedur pengujian Marshall mengikuti SNI 06 -2489-1991. Secara umum dilaksanakan dengan tahapan berikut :

2.2.1 Pengujian Material

Pengujian material bertujuan untuk mengetahui gradasi memenuhi spesifikasi yang ditentukan atau tidak. Pengujian material meliputi agregat kasar, agregat halus, dan filler. Sifat-sifat material memenuhi spesifikasi yang ditentukan.

2.2.2 Penentuan Gradasi Agregat

Gradasi masing-masing jenis agregat (kasar, halus, dan *filler*) ditentukan dalam spesifikasi suatu jenis campuran beraspal panas. Demikian pula penyaringan agregat dapat dilakukan dengan cara mencampur agregat kasar halus dan *filler* atau disebut dengan (*blending*). Pencarian gradasi agregat untuk campuran beraspal panas di laboratorium, bisa dilaksanakan tanpa mencampur agregat, yaitu berdasarkan gradasi ideal (batas tengah) spesifikasi gradasi agregat gabungan ditentukan. Masing-masing ukuran butir agregat diperoleh dengan mengayak agregat sesuai ukuran saringan yang ditentukan. Kemudian pori-pori agregat dicari berdasarkan kumulatif persentase lolos gradasi ideal.

2.2.3 Penentuan Proporsi Agregat

Pengelompokan agregat diperoleh dari hasil pengayakan. Agregat kasar adalah agregat yang tertahan saringan No. 4 = 4,75 mm. Untuk agregat halus (lolos saringan No. 4 = 4,75 mm dan tertahan saringan No. 200 = 0,075 mm) menggunakan pasir laut dan abu batu sebagai pembanding. Sedangkan filler adalah material non plastis yang lolos saringan No. 200 = 0,075 mm. Filler dapat berupa abu kapur fly ash, semen, dan lain-lain.

2.2.4 Estimasi Kadar Aspal Awal

Menghitung kadar aspal awal atau rencana bertujuan untuk mengetahui kadar aspal optimum, adapun perhitungannya menurut Depkimpraswil (2004) sebagai berikut:

$$P_b = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%FF) + K \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan :

P_B = % kadar aspal awal terhadap berat total campuran

% CA = % agregat kasar (*coarse aggregate*) terhadap berat total agregat

% FA = % agregat halus (*fine aggregate*) terhadap berat total agregat

% FF = % filler terhadap berat total agregat

K = nilai konstanta kira-kira 0,5 sampai 1,0 untuk laston dan 2,0 sampai 3,0 untuk lataston. Untuk jenis campuran lainnya digunakan nilai 1,0 sampai 2,5.

2.2.5 Penentuan Prosentase Material terhadap Berat Total Campuran

Prosentase proporsi agregat dihitung berdasarkan berat total agregat. Karena dalam campuran terdapat kandungan aspal, maka perlu dihitung prosentase material terhadap total campuran. Untuk membuat sebuah sample umumnya diperlukan sekitar 1100 gram agregat yang proporsinya sesuai dengan ukuran butir agregat. Prosentase terhadap berat total campuran berubah sesuai dengan variasi kadar aspal.

2.2.6 Perhitungan Jumlah Material yang Dibutuhkan

Proporsi agregat kasar disesuaikan dengan persentase ukuran butirnya yang sudah diperiksa (diayak) terlebih dahulu. Untuk agregat halus sudah bisa langsung menggunakan pasir halus lolos No. 4 (4,75 mm) dan tertahan No. 200 (0,075 mm).

2.2.7 Jumlah Sampel dan Pemanasan

Variasi kadar aspal idealnya dibuat minimal 3 sampel kemudian karakteristik campuran diambil nilai rata-rata dua sample yang memberi hasil terbaik. Bila pencampuran dilaksanakan secara manual, agregat ditempatkan dalam waskom metal dan diaduk rata sebelum dipanaskan. Setelah panas, kemudian dituangi aspal sejumlah yang diperlukan, lalu diaduk dengan sendok metal serata mungkin. Untuk menguraangi kehilangan temperatur, yang bisa mengakibatkan agregat tidak terselimuti aspal dengan merata maka campuran dipanaskan beberapa saat (2-5 menit), kemudian diaduk kembali sampai merata.

2.2.8 Pematatan Sampel

Proses pematatan bertujuan untuk membuat benda uji menjadi padat sesuai dengan kondisi di lapangan. Pematatan dilakukan sesuai dengan jumlah tumbukan sebagai berikut:

1. Pematatan campuran *Split Mastic Asphalt* (SMA): 2 x 50 tumbukan
2. Pematatan PRD : 2 x 200 tumbukan
3. Berat alat tumbuk : 4,5 kg 4. Tinggi jatuh : 8" = 45,7 cm

2.3 Karakteristik *Marshall*

Campuran beraspal panas pada dasarnya terdiri dari aspal dan agregat, proporsi masing-masing bahan harus dirancang sedemikian rupa agar dihasilkan aspal beton yang dapat melayani lalu lintas dan tahan terhadap pengaruh lingkungan selama masa pelayanan. Ini berarti campuran beraspal harus :

1. Mengandung cukup kadar aspal agar awet
2. Mempunyai stabilitas yang memadai untuk menahan beban lalu lintas
3. Mengandung cukup rongga udara (VIM) agar tersedia ruangan yang cukup untuk menampung ekspansi aspal akibat pemadatan lanjutan oleh lalu lintas dan kenaikan temperatur udara tanpa mengalami bleeding atau deformasi plastis
4. Rongga udara yang ada harus juga dibatasi untuk membatasi permeabilitas campuran.
5. Mudah dilaksanakan sehingga campuran beraspal dapat dengan mudah dihindarkan dan dapat sesuai dengan rencana memenuhi spesifikasi.

Dalam pedoman Teknik No. 025/T/BM/1999, kinerja campuran beraspal ditentukan oleh volumetrik campuran (padat) yang terdiri atas:

2.3.1 Berat Jenis Agregat

Berat jenis agregat adalah perbandingan antara berat volume agregat dan berat volume air. Besarnya berat jenis agregat penting dalam perencanaan campuran agregat dengan aspal karena umumnya direncanakan berdasarkan perbandingan berat dan juga untuk menentukan banyak pori. Agregat dengan berat jenis yang kecil mempunyai volume yang besar sehingga dengan berat yang

sama membutuhkan jumlah aspal yang lebih banyak. Disamping itu agregat dengan kadar pori yang besar membutuhkan jumlah aspal yang banyak.

Ada 3 jenis berat jenis yang dapat ditentukan berdasarkan manual PB 0202-76 atau AASTHO T 85-81.

1. Bulk Specific Gravity (Berat Jenis Bulk)

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

$$\text{Bulk S.G.} = \frac{W_s}{V_p + V_i + V_s} = \frac{W_s}{B_j - B_a} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan:

- VP = volume pori yang dapat diresapi air
- Vi = Volume pori yang tak dapat diresapi air
- Vs = volume partikel agregat
- Ws = berat kering partikel agregat
- γw = berat volume air
- Bj = berat dalam keadaan jenuh
- Ba = berat dalam keadaan air

Jika dianggap aspal hanya menyelimuti bagian luar dari agregat maka digunakan bulk specific gravity.

2. Apparent Specific Gravity (Berat Jenis Semu)

Berat jenis semu adalah volume partikel dan bagian yang dapat diserap air. Penggunaan berat jenis ini dalam perhitungan jika dianggap aspal dapat meresapi

seluruh bagian yang dapat diresapi air.

$$\text{Apparent SG} = \frac{W_s}{V_s + V_i + V_r} = \frac{W_s}{2a - Bk} \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan:

- Ws = berat kering partikel agregat
- Vi = Volume pori yang tak dapat diresap air
- Vs = volume partikel agregat
- γ_w = berat volume air
- Ba = berat dalam keadaan air
- Bk = berat agregat kering

3. *Effective Specific Gravity* (Berat Jenis Efektif)

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

$$\text{Effective SG} = \frac{W_s}{(V_s + V + V_i)} + \frac{Bf}{Bj - Ba} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan:

- V = Volume total dari agregat
- Vi = Volume pori yang tak dapat diresap air
- Vs = volume partikel agregat
- Ws = berat kering partikel agregat
- Bj = berat dalam keadaan jenuh
- Ba = berat dalam keadaan air

2.3.2 Berat Jenis Maksimum Campuran

Berat jenis maksimum campuran, Gmm pada masing-masing kadar aspal dipelukan untuk menghitung kadar rongga masing-masing kadar aspal. Ketelitian hasil uji terbaik adalah bila kadar aspal campuran mendekati kadar aspal optimum. Sebaiknya pengujian berat jenis maksimum dilakukan dengan benda uji sebanyak minimum dua buah (duplikat) atau tiga buah (triplikat). Selanjutnya berat jenis maksimum (Gmm) campuran untuk masing-masing kadar aspal dapat dihitung menggunakan berat jenis efektif (Gse) rata-rata seperti berikut:

$$G_{mm} = \frac{W}{V_{sb} + V_b - V_{ba}} \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan:

Gmm = berat jenis maksimum campuran, rongga udara nol

W = berat volume campuran yang telah dipadatkan

Vsb = volume agregat (Bulk)

Vb = volume aspal dalam campuran yang telah dipadatkan

Vba = volume aspal yang terabsorpsi

2.3.3 Penyerapan Aspal

Penyerapan aspal dinyatakan dalam persen terhadap berat agregat total, tidak terhadap campuran, perhitungan penyerapan aspal (Pba) adalah sebagai berikut:

$$P_{ba} = 100 \frac{G_{se} - G_{sk}}{G_{sb} - G_{se}} G_b \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan:

Pba = penyerapan aspal, persen terhadap agregat

Gsb = berat jenis bulk agregat

Gse = berat jenis efektif agregat

Gb = berat jenis aspal

2.3.4 Kadar Aspal Efektif

Kadar aspal efektif (Pbe) 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 akan menentukan kinerja pekerasan beraspal. Rumus kadar aspal efektif adalah:

$$P_{be} = \left[\frac{P_b \frac{P_{ba}(100 - P_b)}{100}}{100 - \frac{P_{ba}(100 - P_b)}{100}} \right] \cdot 100 \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan:

Pbe = kadar aspal efektif, persen total campuran

Pb = kadar aspal, persen total campuran

Pba = penyerapan aspal, persen total agregat

2.3.5 Voids in Mineral Aggregate (VMA)

VMA (*Voids in Mineral aggregate*) adalah ruang di antara partikel agregat pada suatu perkerasan beraspal, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat). VMA dihitung berdasarkan berat jenis bulk (Gsb) agregat dan dinyatakan sebagai persen volume bulk campuran yang dipadatkan. VMA dapat dihitung pula terhadap berat campuran total atau terhadap berat agregat total. Perhitungan campuran total dengan rumus berikut:

1. Terhadap berat campuran total

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb} - P_s}{G_{sb}} \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan:

VMA = rongga di antara mineral agregat, persen volume bulk

Gsb = berat jenis bulk agregat

Gmb = berat jenis bulk campuran padat

Ps = kadar agregat, persen total campuran

2. Terhadap berat agregat total

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb}}{G_{sb}} \times \frac{100}{(100 + P_s)} \dots\dots\dots(2.9)$$

Keterangan :

VMA = rongga di antara mineral agregat, persen volume bulk

Gsb = berat jenis bulk agregat

Gmb = berat jenis bulk campuran padat

Pb = kadar agregat, persen total campuran

2.3.6 Voids In Mix (VIM)

VIM (*Voids In Mix*) dalam campuran beraspal terdiri atas ruang udara di antara partikel agregat yang terselimuti aspal. Volume rongga udara dalam persen dapat ditentukan dengan rumus berikut:

$$VIM = 100 - \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \dots\dots\dots(2.10)$$

Keterangan:

VIM = rongga udara campuran, persen total campuran

Bmb = berat jenis balk campuran padat

Gmm = berat jenis maksimum campuran

2.3.7 Voids In Coarse Agregate within Compacted Mixture (VCA_{MIX})

VCA (*voids in coarse aggregate*) didefinisikan sebagai volume rongga pada partikel agregat kasar, termasuk didalamnya berupa *filler*, agregat halus, rongga udara, aspal dan serat selulosa. Campuran harus memenuhi persyaratan nilai VCA yang ditetapkan (AASHTO R 46 -80, 2012), yang dinotasikan dalam persamaan berikut :

$$VCA_{MIX} < VCA_{DRC} \text{ atau } (VCA_{MIX}/VCA_{DRC}) < 1 \quad \dots\dots\dots(2.12)$$

VCA_{MIX} dapat diitung dengan persamaan berikut :

$$VCA_{MIX} = 100 - \left(\frac{G_{mb}}{G_{CA}} \right) \cdot P_{CA} \quad \dots\dots\dots(2.13)$$

Keterangan :

VCA_{MIX} = rongga diantara partikel agregat kasar pada campuran yang telah dipadatkan

G_{mb} = berat jenis *bulk* campuran beraspal yang telah dipadatkan

G_{CA} = berat jenis *bulk* dari fraksi campuran agregat kasar

P_{CA} = prosentase fraksi campuran agregat kasar dalam total campuran aspal

2.3.8 Voids In Coarse Aggregate Fraction In Dry-Rodded Condition (VCA_{DRC})

Penentuan VCA_{DRC} adalah dengan pemadatan pada fraksi campuran agregat kasar menggunakan Teknik *dry-rodde*d sesuai AASHTO T 19M/T 19-14.

VCA_{DRC} dapat dihitng dengan persamaan berikut :

$$VCA_{DRC} = \frac{G_{CA} - V_s}{G_{CA} \gamma_w} \times 100 \dots\dots\dots(2.14)$$

Keterangan :

VCA_{DRC} = rongga diantara partikel agregat kasar pada campuran kondisi *dry-rodded* sesuai AASHTO T 19M/T19-14

G_{CA} = berat jenis *bulk* dari fraksi campuran agregat kasar

γ_s = berat satuan fraksi agregat kasar dalam kondisi *dry-rodded* (kg/m^3)

γ_w = berat satuan air (kg/m^3), tergantung temperatur pengukuran suhu

2.3.9 Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan lapis keras dalam menahan beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk yang permanen, dinyatakan dalam kg. Pengukuran stabilitas dengan uji *Marshall* diperlukan untuk mengetahui kekuatan tekan geser dari sampel yang ditahan dua sisi kepala penekan, dengan nilai stabilitas yang cukup tinggi diharapkan perkerasan dapat menahan beban lalu lintas tanpa terjadi kehancuran geser.

Nilai stabilitas diperoleh berdasarkan nilai masing masing yang ditunjukkan oleh jarum arloji. Untuk nilai stabilitas, nilai yang ditunjukkan pada arloji perlu dikonversi terhadap alat *Marshall*. Hasil pembacaan di arloji stabilitas harus dikalikan dengan nilai kalibrasi *proving ring* yang digunakan pada alat *Marshall*. Pada penelitian ini, alat *Marshall* yang digunakan mempunyai nilai kalibrasi *proving ring* sebesar 12,72 stabilitas naik dengan bertambahnya kadar aspal sampai batas tertentu kemudian turun.

2.3.10 Kelelehan (*Flow*)

Nilai ditentukan oleh jarum arloji pembacaan *flow* pada alat *marshall*. Untuk ar loji pembacaan *flow*, nilai yang didapat sudah dalam satuan mm, sehingga tidak perlu dikonversikan lebih lanjut. *Flow* secara konsisten terus naik bertambahnya kadar aspal.

2.3.11 *Marshall Quotient* (MQ)

Marshall quorient dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$MQ = \frac{MS}{MF} \dots\dots\dots(2.15)$$

Keterangan:

MQ = *Marshall Quotient*

MS = *Marshall Stability*

MF = *Flow Marshall*

Marshall Quotient bertambah dengan bertambahnya kadar aspal sampai batas tertentu kemudian turun.

2.3.12 Kadar Aspal Optimum

Kadar aspal pada suatu campuran *Split Mastic Asphalt* (SMA) mempengaruhi nilai *Specific Gravity* (SG), *Void in Mix* (VIM), *Voids in Material Agregates* (VMA), *Voids Filled with Asphalt* (VFA), Stabilitas, *Flow*, dan *Marshall Qoutient*.

Kualitas dan kuantitas aspal dalam campuran sangat berpengaruh terhadap kinerja campuran lapis perkerasan dalam menerima beban lalu lintas. Kadar aspal

yang rendah dalam suatu campuran akan mengakibatkan lapisan perkerasan mengalami retak - retak. Demikian juga kadar aspal yang berlebihan membuat lapisan perkerasan mengalami bleeding. Oleh sebab itu, kadar aspal yang diperlukan dalam suatu campuran lapisan perkerasan adalah kadar aspal optimum, yaitu suatu kadar aspal yang memberikan stabilitas tertinggi pada lapisan perkerasan, dimana persyaratan yang lainnya juga dipenuhi, seperti nilai VIM, *flow* dan sebagainya, hingga pada akhirnya memberi umur pelayanan jalan yang lebih lama. Kadar aspal yang terpakai dalam campuran yang kemudian dihampar di lapangan adalah kadar aspal optimum. Kadar aspal optimum menjadi persyaratan mutlak dalam setiap campuran lapisan perkerasan beraspal. Besaran kadar aspal optimum berbeda - berbeda, tergantung dari propertis aspal, agregat, gradasi agregat dan jenis campuran itu sendiri. Lapis perkerasan yang di atas selalu lebih besar kadar aspalnya

Data *marshall* yang telah memenuhi spesifikasi kemudian dirata - ratakan dan hasilnya merupakan nilai dari kadar aspal optimum.

2.3.13 Marshall Rendaman Optimum, PRD, dan Stabilitas Sisa

Marshall rendaman dilakukan setelah diketahui kadar aspal optimumnya, kemudian membuat 9 briket direndam dalam *water bath* selama 30 menit 3 sampel dan 24 jam 6 sampel untuk PRD dan Stabilitas sisa. Pengujian ini dimaksudkan mengetahui keawetan dan kerusakan yang diakibatkan oleh air.

