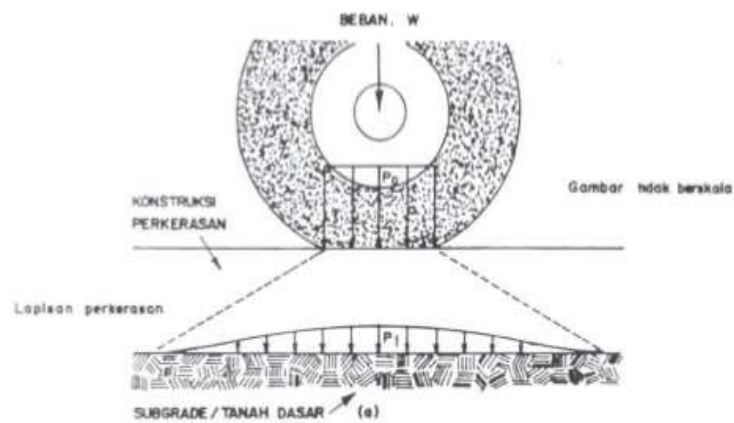


BAB III LANDASAN TEORI

3.1 Perkerasan Lentur Jalan

Pekerasan lentur (*flexible pavement*) umumnya terdiri dari tiga lapisan utama, yaitu lapis permukaan (*surface course*), lapis pondasi (*base course*) dan lapis pondasi bawah (*subbase course*). Lapis permukaan aspal berada diatas lapis pondasi dan lapis pondasi bawah granuler yang dihamparkan diatas tanah dasar. Lapisan-lapisan tersebut berfungsi untuk menerima beban lalu lintas dan menyebarkan ke lapis di bawahnya. Pada Gambar 3.1 ditunjukkan penyebaran tegangan yang disebabkan oleh roda kendaraan. Pada sistem perkerasan lentur, lapisan perkerasan di bagian atas, karena menerima tegangan yang lebih tinggi, maka harus dipilih material yang mempunyai kualitas lebih baik daripada di bagian bawah.



Gambar 3.1 Penyebaran Beban Roda Melalui Lapis Pakerasan Jalan

(Sumber : Sukirman, 1993)

1. Lapisan Permukaan

Lapisan permukaan (*surface course*) merupakan bagian perkerasan yang paling atas, terdiri dari lapis aus (*wearing course*) dan lapis pengikat (*binder course*). Lapis aus harus mempunyai keawetan, kedap air, kerataan dan kekesatan. Karena itu, lapisan ini harus disusun dari campuran beraspal panas (*hot mix*), bergradasi padat. Fungsi dari lapisan permukaan adalah sebagai berikut ini.

a. Struktural

Ikut mendukung dan menyebarkan beban kendaraan yang diterima oleh perkerasan, baik beban vertikal maupun beban horisontal (gaya geser). Untuk itu persyaratan yang dituntut ialah kuat, kokoh, dan stabil.

b. Non Struktural

- 1) Lapis kedap air, mencegah masuknya air ke dalam lapisan perkerasan yang ada dibawahnya.
- 2) Menyediakan permukaan yang tetap rata, agar kendaraan dapat berjalan dan memperoleh kenyamanan yang cukup.
- 3) Membentuk permukaan yang tidak licin, sehingga tersedia koefisien gerak (*skid resistance*) yang cukup untuk menjamin tersedianya keamanan lalu lintas
- 4) Sebagai lapis aus, yaitu lapis yang dapat aus yang selanjutnya dapat diganti lagi dengan yang baru.

2. Lapisan Pondasi

Lapis pondasi (*base course*) adalah bagian dari perkerasan yang terletak antara lapis permukaan dan lapis pondasi bawah (atau dengan tanah apabila tidak menggunakan lapis pondasi bawah). Lapis pondasi ini berfungsi sebagai lapis pendukung bagi lapis permukaan, pemikul beban horisontal dan vertikal, serta sebagai lapis perkerasan bagi lapis pondasi bawah.

3. Lapisan Pondasi Bawah

Lapis pondasi bawah (*subbase course*) adalah bagian perkerasan yang terletak antara lapis pondasi dan tanah dasar. Fungsi dari lapis pondasi bawah ini antara lain untuk penyebar beban roda, lapis peresapan, lapis pencegah masuknya

tanah dasar ke lapis pondasi dan lapis pertama pada pembuatan perkerasan (Suprpto, 2004).

3.2 *Split Mastic Asphalt (SMA)*

Campuran aspal *Split Mastic Asphalt* bergradasi terbuka dengan kandungan agregat kasar lebih dari 75%. Hal ini memungkinkan campuran aspal yang digunakan berkadar aspal tinggi. Pemakaian aspal tinggi ini menyebabkan adanya kegemukan (*bleeding*) dan kelelahan plastis yang tinggi. Oleh karena itu, campuran *SMA* ditambahkan bahan penstabil yang terbuat dari serat selulosa. Campuran ini terbukti memiliki sifat tahan terhadap oksidasi dan temperatur tinggi (Yamin, 2002). Kelemahannya adalah banyak ukuran agregat yang tidak digunakan dalam gradasi agregat *SMA*, selain juga kualitasnya harus dikontrol dengan baik. Lemahnya kontrol akan menghasilkan campuran dengan penyebaran serat selulosa yang tidak homogen, sehingga campuran akan lebih mudah mengalami kelelahan plastis dan kegemukan.

Split Mastic Asphalt dikembangkan untuk mendapatkan suatu lapis permukaan yang mampu memberikan ketahanan maksimum terhadap pengausan oleh ban kendaraan (*wearing resistance*) sekaligus memberikan ketahanan maksimum terhadap deformasi lalu lintas berat. Selain itu kekesatan yang baik dan kemampuan untuk meningkatkan titik lembek aspal dapat dihasilkan oleh *SMA* sehingga dapat bertahan terhadap panas permukaan jalan.

Sedangkan menurut Suryanto (1997) *Split Mastic Asphalt (SMA)* adalah suatu sistem perkerasan jalan raya yang memaksimalakan interaksi dan kontak antara fraksi kasar dalam campuran perkerasan. Fraksi agregat kasar mempunyai nilai stabilitas yang tinggi dan tahan terhadap gaya geser dari campuran, sedangkan campuran fraksi halus menjadi *mastic* untuk menyatukan batuan tersebut. *Split Mastic Asphalt (SMA)* yang nantinya ditambahkan serat selulosa akan menjadikan sistem perkerasan jalan raya *Heavy Loaded* yaitu konstruksi jalan raya yang selalu memberi beban-beban berat. *Split Mastic Asphalt (SMA)* mempunyai sifat-sifat diantaranya adalah sebagai berikut.

1. Mampu melayani lalu lintas berat dengan stabilitas *Marshall* > 750 kg, dan *flow Marshall* antar 2-4 mm.
2. Tahan terhadap oksidasi, dantebal lapisan film aspal aspal $10 \mu\text{m}$.
3. Tahan terhadap deformasi permanen pada suhu tinggi, dan nilai stabilitas dinamis adalah > 1.500 lintasan/mm (600C, 4 kg/cm²).
4. Fleksibilitas atau lentur, dengan *Marshall Quotient* antara 190 – 300 kg/mm (stabilitas *flow*).
5. Tahan terhadap cuaca panas atau temperatur tinggi, harga titik lembek (aspal + *sellulose*) adalah > 600 C.
6. Kedap air, dengan rongga udara antara 3-5 %, *index* perendaman adalah 75% (600C, 48 jam).
7. Aman untuk lalu lintas karena kesat, dengan nilai kekesatan $> 0,60$.

Selain itu, *Split Mastic Asphalt* juga memiliki kelebihan diantaranya sebagai berikut ini.

1. Mempunyai permukaan yang kesat dan homogen, sehingga *friction* lebih tinggi dan aman, terutama untuk lalu lintas luar kota yang mempunyai kecepatan relatif tinggi.
2. Dengan bahan tambahan serat selulosa akan lebih tahan terhadap *bleeding*, dan taha terhadap pembebanan dengan lalulintas yang cukup berat.
3. Akibat kadar aspal yang lebih tinggi maka akan lebih tahan terhadap sinar ultraviolet atau oksidasi, sehingga umur rencana diharapkan lebih lama.
4. Lebih menguntungkan untuk diterapkan di Indonesia, karena muatan lalulintas pada umumnya cenderung tidak terukur atau tidak terkendali muatannya.
5. Lebih fleksibel terhadap *fatigue* atau dasar yang kurang mantap.

Menurut spesifikasi Bina Marga untuk proyek peningkatan jalan, gradasi agregat campuran *Split Mastic Asphalt* adalah sebagaimana di tabelkan pada Tabel 3.1 berikut ini.

Tabel 3.1 Gradasi Agregat *Split Mastic Asphalt (SMA) 0/11*

Uraian	Satuan
Gradasi Agregat	(% Lolos Saringan)
19,00 mm	100
12,50 mm	90-100
9,50 mm	50-75
4,75 mm	30-50
2,36 mm	20-30
0,30 mm	10-20
0,075 mm	8-13

Sumber : Kimbangwil (1999) dalam Perwitasari (2013)

3.3 Material Penyusun Perkerasan Lentur

Material yang akan digunakan dalam pekerasan lentur jalan terdiri dari agregat kasar, agregat halus, aspal, dan dapat ditambahkan bahan tambah lainnya sesuai dengan jenis campuran aspal yang digunakan. Berikut adalah penjabaran tentang material penyusun perkerasan jalan lentur.

3.3.1 Agregat

ASTM (1974) mendefinisikan batuan sebagai suatu bahan yang terdiri dari mineral padat, berupa masa berukuran besar ataupun fragmen-fragmen agregat/batuan merupakan unsur komponen utama dari lapisan pekerasan jalan yaitu mengandung 90-95% agregat berdasarkan presentase berat atau 75%-85% agregat berdasarkan presentase volume. Dengan demikian daya dukung, keawetan, dan mutu perkerasan jalan ditentukan juga dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain (Sukirman,1993). Berdasarkan besar pratikel-pratikel agregat, agregat dapat dibedakan atas sebagai berikut.

1. Agregat kasar, yaitu agregat yang tertahan ayakan no.8 (diameter 2,36 mm).
2. Agregat halus, yaitu agregat yang harus terdiri dari pasir atau hasil pengayakan batu pecah dan terdiri dari bahan yang lolos ayakan no.8 (2,36 mm) dan tertahan saringan no.200 (diameter 0,0075 mm)

3. Bahan pengisi (*filler*), yaitu bahan pengisi yang lolos ayakan no.200 (0,075 mm), dan tidak kurang dari 95% terhadap beratnya.

Berdasarkan ketentuan Binamarga 2010 dapat dilihat pada Tabel 3.2 dan Tabel 3.3 ketentuan untuk agregat kasar dan agregat halus. Berikut ini adalah ketentuan agregat kasar dan agregat halus.

Tabel 3.2 Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian		Standar	Nilai	
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan	Natrium sulfat	SNI 3407 : 2008	Maks.12%	
	Magnesium sulfat		Maks.18%	
Abrasi dengan mesin Los Angeles ¹⁾	Campuran AC Modifikasi	100 putaran	Maks. 6%	
		500 putaran	Maks. 30%	
	Semua jenis campuran aspal bergradasi lainnya	100 putaran	SNI 2417:2008	Maks. 8%
		500 putaran		Maks.40%
Kelekatan agregat terhadap aspal		SNI 2439:2011	Min. 95%	
Butir pecah pada agregat kasar		SNI 7619:2012	95/90 ^{*)}	
Partikel pipih pada agregat kasar		ASTM D4179 Perbandingan 1: 5	Maks. 10%	
Material lolos ayakan No.200		SNI 09-4142-1996	Maks. 2%	
Catatan : *) 95/90 menunjukkan bahwa 95% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih dari 90% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah dua atau lebih				

Sumber : Bina Marga (2010)

Tabel 3.3 Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Standar	Nilai
Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 60%
Angularitas dengan uji kadar rongga	SNI 03-6877-2002	Min.45%
Gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat	SNI 03-4141-1996	Maks. 1%
Agregat lolos ayakan No.200	SNI ASTM C11 : 2012	Maks. 10%

Sumber : Bina Marga (2010)

3.3.2 Gradasi Agregat

Sukirman (1993) menyatakan gradasi atau distribusi partikel-partikel berdasarkan ukuran agregat merupakan hal yang penting untuk menentukan stabilitas pekerasan/ gradasi agregat mempengaruhi besarnya rongga diantara butir yang akan menentukan stabilitas dan kemudahan dalam proses pelaksanaan.

Gradasi SMA yang digunakan pada penelitian ini adalah SMA 0/11, spesifikasi SMA 0/11 dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Spesifikasi SMA Grading 0/11

No	Jenis Pemeriksaan	Persyaratan
1.	Agregat a. < 0,09 mm, % berat b. >2 mm, % berat c. >5 mm, % berat d. >8 mm, % berat e. >11,2 mm, % berat	8-13 70-80 ≥ 25 ≤ 10
2.	Aspal a. Jenis b. Kadar, %berat	AC 60/70 6-7,5
3.	<i>Additive</i> a. Jenis b. Kadar, %berat	Serat selulosa 0,3 %
4.	Kriteria dari <i>Marshall</i> a. Pemadatan, tumbukan b. Stabilitas, kg c. Rongga terisi aspal d. Rongga dalam campuran, % campuran e. Kelelahan (<i>flow</i>), mm f. Indeks perendam 48 jam, % g. <i>Marshall Quotient</i>	2 x 75 670 76-82 3-5 2-4 75 190-300
5.	Tebal pengaspalan, cm	3-5
6.	Derajat kepadatan, %	≥ 97

Sumber : Bina Marga (1987)

3.3.3 Aspal

Aspal merupakan material untuk perekat, yang berwarna coklat gelap sampai hitam, dengan unsur pokok yang dominan adalah bitumen. Bitumen atau dapat disebut juga hidrokarbon merupakan bahan dasar utama dari aspal. Aspal juga merupakan material *Thermoplastic* yang dapat berubah akibat perubahan temperatur, akan cair jika dipanaskan dan mengeras pada suhu rendah. Bahan campuran aspal biasanya disebut aspal semen bersifat kedap air, dengan kekentalan tinggi, bahan perekat yang melekat dengan mudah pada butiran agregat.

Menurut Sukirman (1993) berdasarkan cara diperolehnya aspal dibedakan atas aspal alam dan aspal buatan. Aspal alam yang dibedakan atas aspal gunung (*rock asphalt*) dan aspal danau (*lake asphalt*) seperti aspal dari bermuda trinidad. Aspal buatan yang terdiri dari aspal minyak yang merupakan hasil penyulingan minyak bumi dan tar yang merupakan hasil penyulingan batu bara.

Aspal keras/*cement (AC)* atau biasanya disebut aspal padat terdiri dari beberapa jenis aspal semen tergantung dari proses pembuatannya dan jenis minyak bumi asalnya. Pengelompokan aspal semen dapat dilakukan berdasarkan nilai penetrasi pada suhu 25°C ataupun berdasarkan nilai viskositasnya. Di Indonesia pada umumnya digunakan aspal semen dengan penetrasi 60/70 dan 80/100. Ketentuan-ketentuan untuk aspal keras dapat dilihat pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Ketentuan-Ketentuan Aspal Keras

No	Jenis Pengujian	Metoda Pengujian	Aspal Pen 60-70
1.	Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI 06-2456-1991	60-70
2.	Viskositas Dinamis 60°C (Pa.s)	SNI 06-6441-2000	160-240
3.	Viskositas Kinematis 135°C (cSt)	SNI 06-6461-2000	≥300
4.	Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥48
5.	Daktilitas Pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	≥100
6.	Titik Nyala (°C)	SNI 2433:2011	≥232
7.	Kelarutan Dalam Trichloroethylene (%)	AASHTO T44-03	≥99
8.	Berat Jenis	SNI 2441:2011	≥1,0

Sumber : Kementrian Pekerjaan Umum Direktorat Jendal Bina Marga (2010) Revisi 1

Pada campuran *Split Matic Asphalt*, kadar aspal yang digunakan jumlahnya relatif tinggi. Kadar aspal yang tinggi tersebut dan dengan gradasi terbuka yang ada akan memberikan sifat-sifat sebagai berikut.

1. Menghasilkan lapisan film aspal yang tebal, sehingga tahan terhadap proses oksidasi, tahan terhadap proses pelapukan oleh sinar matahari dan mempunyai kelekatan yang lebih baik diantara agregat. Hal ini menyebabkan umur (*life time*) dari lapis permukaan bertambah.
2. Tidak peka terhadap perubahan kadar aspal pada campuran.
3. Menghasilkan kelekatan yang lebih baik dengan lapisan di bawahnya.
4. Lebih fleksibel dalam mengatasi perubahan bentuk yang terjadi akibat beban lalu lintas.

3.3.4 Filler

Filler atau disebut juga bahan pengisi merupakan material berbutir halus yang lolos saringan no.200 (0,0075 mm), dapat terdiri dari debu batu, kapur padam, semen *Portland*, atau bahan non-plastis lainnya. Selain itu, *filler* juga mempengaruhi sifat elastisitas campuran dan sensitivitasnya terhadap air. Adapun ketentuan *filler* pada campuran aspal menurut Bina Marga 2010 revisi 1 adalah sebagai berikut ini.

1. Bahan pengisi yang ditambahkan terdiri atas debu batu kapur (*limestone dust*), kapur padam (*hydrated lime*), semen atau abu terbang yang sumbernya disetujui oleh Direksi Pekerjaan.
2. Bahan pengisi yang ditambahkan harus kering dan bebas dari gumpalan gumpalan dan bila diuji dengan pengayakan sesuai SNI 03-1968-1990 harus mengandung bahan yang lolos ayakan No.200 (*75 micron*) tidak kurang dari 75 % terhadap beratnya.
3. Semua campuran beraspal harus mengandung bahan pengisi yang ditambahkan tidak kurang dari 1% dan maksimum 2% dari berat total agregat.

Berikut adalah ketentuan *filler* dapat dilihat pada Tabel 3.4 dibawah ini.

Tabel 3.6 Ketentuan Filler

Pengujian	Standar	Nilai
Material lolos saringan no.200	SNI 03-6723-2002	Min 75%

Sumber : Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga (2010)

Dalam campuran beton aspal *filler* memiliki peran tersendiri, untuk mendapatkan beton aspal yang memenuhi ketentuannya. Penggunaan *filler* dalam beton aspal akan memengaruhi karakteristik beton aspal tersebut. Berikut ini adalah beberapa fungsi dari bahan pengisi (*filler*).

1. Sebagai pengisi antara partikel agregat yang lebih kasar, sehingga rongga udara menjadi lebih kecil dan menghasilkan tahanan geser serta penguncian antar butiran yang tinggi, dengan demikian akan meningkatkan stabilitas campuran.
2. Jika ditambahkan ke dalam aspal, bahan pengisi akan menjadi suspensi, sehingga terbentuk mastik yang bersama-sama dengan aspal mengikat partikel agregat. Dengan penambahan bahan pengisi, aspal menjadi lebih kental, dan campuran agregat aspal menjadi bertambah kekuatannya.

Salah satu *filler* yang sering digunakan pada campuran beraspal yakni *filler* debu batu. Penelitian tentang debu batu telah banyak dilakukan, diantaranya penelitian yang dilakukan oleh Tahami dkk (2018) dengan melakukan pengujian *Scanning Electron Microscopy (SEM)* yang diterapkan untuk memeriksa bentuk dan tekstur permukaan pengisi sehingga dapat diketahui morfologi mikroskopis dari partikel pengisi debu batu dari *SEM* seperti pada Gambar 3.2 berikut ini.



Gambar 3.2 Scanning Electron Microscopy (SEM) filler debu batu

(Sumber : Tahami dkk, 2018)

Berdasarkan gambar *SEM* diatas, dapat diketahui bahwa partikel debu batu mengandung permukaan dengan tekstur halus hingga agak kasar dan sedikit porositas.

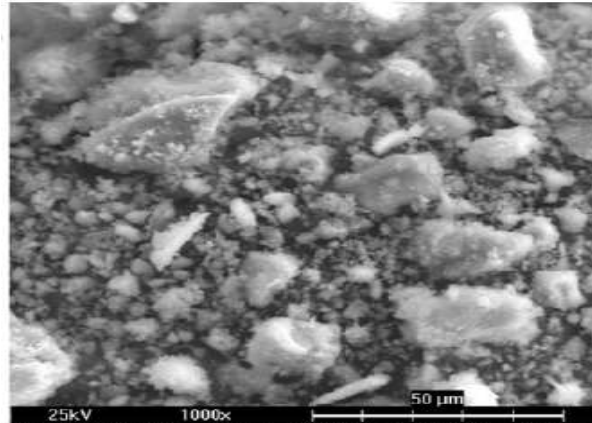
3.4 Serbuk Batu Bata

Batu bata merupakan batu yang dibuat untuk keperluan konstruksi seperti pembuatan dinding dan tembok. Bahan pembuatan batu bata merah ini bersifat plastis. Tanah liat sebagai bahan dasar pembuatan batu bata merah mengalami proses pembakaran dengan temperatur tinggi diatas 800°C hingga mengeras seperti batu.

Banyak penelitian yang memanfaatkan batu bata sebagai *filler* untuk perkerasan jalan maupun keperluan konstruksi bangunan beton karena sifatnya yang keras dan tahan terhadap kuat tekan. Menurut Widodo (2004) dalam Esentia (2014) penelitiannya mengatakan bahwa batu bata merah memiliki kandungan SiO_2 , Al_2O_3 dan Fe_2O_3 lebih dari 70%, sehingga tergolong sebagai *pozzolan* aktif.

Menurut Fauzi (2012) dalam Esentia (2014) batu bata merah mengandung silika 47% dan alumina 47% dimana dalam penelitian yang dilakukan oleh Ambarwati dan Arifin (2009) mengatakan penggunaan silika dalam campuran beraspal dapat meningkatkan potensi stabilitas dan durabilitas pada campuran aspal. Karena komposisi batu bata yang tergolong sebagai *pozzolan* menyerupai sifat semen dan kandungan silika yang tinggi diharapkan dapat mengurangi kadar aspal serta meningkatkan stabilitas campuran.

Penelitian mengenai serbuk batu bata yang dilakukan oleh Rovnanik, dkk (2016) dengan melakukan proses analisis menggunakan *XRD (X-Ray Diffraction)* yang merupakan salah satu metoda karakterisasi material dan mendeteksi struktur kristal dari suatu material yang belum diketahui komposisinya. Berikut dapat dilihat hasil mikrograf bubuk batu bata pada Gambar 3.3 dibawah ini.



Gambar 3.3 Mikrograf dari material bubuk bata

(Sumber: Rovnanik dkk 2016)

Mikro material padat diselidiki dengan cara pemindaian mikroskop elektron Jeol JSM-840. Mikrograf diambil dalam mode SE dari sampel kering. Berdasarkan Gambar 3.3 menunjukkan bahwa bubuk batu bata mengandung butiran tajam dan bertekstur kasar. Struktur mikro dari bubuk bata kurang kompak dan lebih berpori sehingga lebih banyak pori-pori yang terletak di antara butiran tajam. Dalam perencanaan campuran beraspal, penggunaan agregat yang memiliki permukaan kasar akan memberikan ikatan dengan aspal lebih baik.

3.5 Serat Selulosa

Serat selulosa merupakan bahan tambah yang diberikan pada campuran panas agregat aspal yang berfungsi sebagai bahan stabilisasi aspal. Bahan ini akan mencegah penguraian pada pencampuran, pengangkutan, penghamparan, dan pemadatan. *Split Mastic Asphalt (SMA)* biasanya menggunakan bahan tambah yang berasal dari serat selulosa sintetis seperti arboceol atau roadcel-50 yang mana harga serat selulosa sintetis tersebut relatif mahal dan produksinya tidak terlalu banyak sehingga sulit di dapat. Alternatif yang lebih mudah yaitu dengan menggunakan dedak padi sebagai serat selulosa alami. Penelitian yang telah dilakukan terkait dedak padi sebagai serat selulosa menyatakan bahwa dedak padi dapat memberikan kinerja campuran dengan baik dan nilai durabilitas cenderung meningkat.

3.6 Air Sungai

Sungai dapat menjadi permasalahan yang besar jika terjadi banjir. Sungai Ciliwung merupakan sungai yang mengalir melalui tengah kota Jakarta dan melintasi banyak perumahan dan perkampungan padat. Sungai ini meluap secara berkala setiap tahun saat diguyur hujan lebat. Air sungai biasanya meluap menggenangi sekitar wilayah Jakarta dan beberapa titik di wilayah Bogor. Lamanya luapan air ini menggenangi jalan tergantung dari seberapa deras intensitas hujan. Biasanya, durasi banjir bisa lebih dari satu hari dengan kedalaman 40-50 cm. Maka dari itu, pada penelitian ini penulis akan menguji air sungai Ciliwung, Jakarta. Pengujian tersebut berkaitan dengan derajat keasaman (pH), dan kekeruhan. Derajat keasaman yang semakin tinggi dapat mempengaruhi ikatan antara aspal dan agregat yang mempercepat terjadinya oksidasi sehingga menyebabkan terjadinya kerusakan dini pada lapisan permukaan jalan

3.7 Kinerja Campuran Beraspal

Beton aspal adalah jenis perkerasan jalan yang terdiri dari campuran agregat dan aspal, dengan atau tanpa bahan tambahan. Material-material pembentuk beton aspal dicampur di instalasi pencampuran pada suhu tertentu, kemudian diangkut ke lokasi, dihamparkan dan dipadatkan. Suhu pencampuran ditentukan berdasarkan jenis aspal yang akan digunakan. Jika digunakan semen aspal, maka suhu pencampuran umumnya antara 145°C - 155°C, sehingga disebut beton aspal campuran panas atau lebih dikenal dengan nama *hotmix*. Campuran beton aspal harus memiliki tujuh karakteristik diantaranya adalah sebagai berikut ini.

3.7.1 Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur dan *bleeding*. Kebutuhan akan stabilitas sebanding dengan fungsi jalan, dan beban lalu lintas yang akan dilayani. Jalan yang melayani volume lalu lintas tinggi dan dominan terdiri dari kendaraan berat, membutuhkan perkerasan jalan dengan stabilitas tinggi. Kriteria desain *Marshall* untuk stabilitas minimum yang memenuhi spesifikasi *SMA*

dan mengacu pada Bina Marga 1987 adalah minimal 670 kg. Akan tetapi kestabilan yang tinggi menyebabkan lapisan perkerasan menjadi kaku dan cepat mengalami retak. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai stabilitas beton aspal diantaranya sebagai berikut.

1. Gesekan internal yang dapat berasal dari kekasaran permukaan dari butir-butir agregat, luas bidang kontak antar butir atau bentuk butir, gradasi agregat, kepadatan campuran, dan tebal film aspal. Stabilitas terbentuk dari kondisi gesekan internal yang terjadi diantara butir-butir agregat, saling mengunci dan mengisinya butir-butir agregat, dan masing-masing butir saling terikat akibat gesekan antar butir dan adanya aspal. Kepadatan campuran menentukan pula tekanan kontak, dan nilai stabilitas campuran. Pemilihan agregat bergradasi baik atau rapat akan memperkecil rongga antara agregat, sehingga aspal yang dapat ditambahkan dalam campuran menjadi sedikit. Kadar aspal yang optimal akan memberikan nilai stabilitas yang maksimum.
2. Kohesi, adalah gaya ikat aspal yang berasal dari daya lekatnya, sehingga mampu memelihara tekanan kontak antar butir agregat. Daya kohesi terutama ditentukan oleh penetrasi aspal, perubahan viskositas akibat temperatur, tingkat pembebanan, komposisi kimiawi aspal, efek dari waktu dan umur aspal.

Pemeriksaan stabilitas diperlukan untuk mengukur ketahanan benda uji terhadap beban. Sedangkan *flow* meter mengukur besarnya deformasi yang terjadi akibat beban. Untuk mendapatkan temperatur benda uji sesuai dengan temperatur terpanas di lapangan maka sebelum dilakukan pemeriksaan benda uji dipanaskan terlebih dulu selama 30-40 menit dengan suhu 60°C di dalam *water bath*. Pengukuran dilakukan dengan menempatkan benda uji pada alat *Marshall*, dan beban diberikan kepada benda uji dengan kecepatan 2 inci/ menit atau 51 mm/ menit. Beban pada saat terjadi keruntuhan dibaca pada arloji pengukur dari *proving ring*, deformasi yang terjadi pada saat itu merupakan nilai *flow* yang dapat dibaca pada *flow* meternya. Nilai stabilitas merupakan nilai arloji pengukur dikalikan dengan nilai kalibrasi *proving ring*, dan dikoreksi dengan angka koreksi akibat variasi ketinggian benda uji. Rumus untuk menghitung nilai stabilitas dapat dilihat pada Persamaan 3.1.

$$q = p \times q \quad (3.1)$$

dengan:

q = nilai stabilitas,

p = pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi *proving ring*, dan

q = angka koreksi benda uji.

3.7.2 Durabilitas (Keawetan)

Durabilitas adalah kemampuan beton aspal menerima repetisi beban lalu lintas seperti berat kendaraan dan gesekan antara roda kendaraan dan permukaan jalan, serta menahan keausan akibat pengaruh cuaca dan iklim, seperti udara, air atau perubahan temperatur. Durabilitas beton aspal dipengaruhi oleh tebalnya film atau selimut aspal, banyaknya pori dalam campuran, kepadatan dan kedap airnya campuran. Selimut aspal yang tebal akan membungkus agregat secara baik, beton aspal akan lebih kedap air, sehingga kemampuannya menahan keausan semakin baik. Tetapi semakin tebal selimut aspal, maka semakin mudah terjadi *bleeding* yang mengakibatkan jalan semakin licin. Besarnya pori yang tersisa dalam campuran setelah pemadatan, mengakibatkan durabilitas beton aspal menurun. Semakin besar pori yang tersisa semakin tidak kedap air dan semakin banyak udara di dalam beton aspal, yang menyebabkan semakin mudahnya selimut aspal beroksidasi dengan udara dan menjadi getas, dan durabilitasnya menurun.

Durabilitas juga merupakan salah satu parameter kinerja campuran beton aspal yang berkaitan dengan keawetan campuran perkerasan terhadap pengaruh air dan temperatur dalam waktu yang lama (Djalante, 2011). Pengujian perendaman *Marshall* adalah metode yang digunakan untuk mengevaluasi pengaruh air terhadap campuran perkerasan aspal. Stabilitas benda uji ditentukan setelah satu hari perendaman di dalam air pada suhu 60°C. Menurut Departemen Pekerjaan Umum (2007), syarat minimum indeks kekuatan sisa untuk lalulintas lebih besar 1 juta ESA adalah sebesar 80 %. Campuran aspal-agregat dengan indeks perendaman yang semakin besar dapat menyebabkan tingkat durabilitas campuran semakin

besar. *Asphalt Institute*, MS-2 (1983) merekomendasikan bahwa indeks stabilitas sisa pada perendaman 24 jam harus lebih besar dari 75 %, sedangkan Bina Marga 2010 merekomendasikan agar lebih dari 90%. Nilai indeks stabilitas sisa (*IRS*) dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.10.

$$IRS = \frac{MSi}{MSs} \times 100\% \quad (3.12)$$

dengan:

IRS = Indeks Stabilitas Sisa (%),

MSi = Stabilitas *Marshall* Perendaman (24 jam) (kg), dan

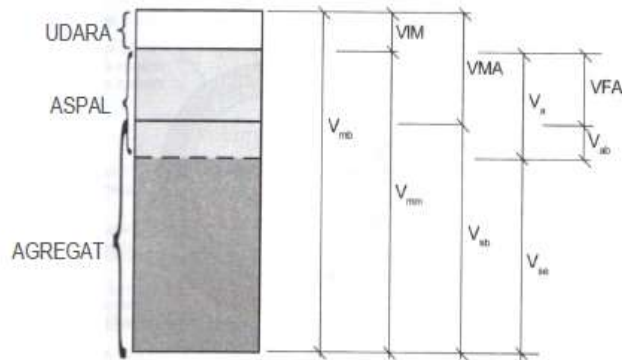
MSs = Stabilitas *Marshall* Standar (1/2 jam) (kg).

3.7.3 Fleksibilitas (Kelenturan)

Fleksibilitas adalah kemampuan beton aspal untuk menyesuaikan diri akibat penurunan (konsolidasi/*settlement*) dan pergerakan dari pondasi atau tanah dasar, tanao terjadi retak. Penurunan terjadi akibat dari rpetisi beban lalu lintas, ataupun penurunan akibat berat sendiri tanah timbunan yang dibuat di atas tanah asli. Fleksibiitas dapat ditingkatkan dengan mempergunakan agregat bergradasi terbuka dengan kadar aspal yang tinggi.

3.7.4 *Fatigue Resistance* (Ketahanan Terhadap Kelelahan)

Fatigue resistance adalah kemampuan beton aspal menerima lanjutan berulang akibat repetisi beban, tanpa terjadinya kelelahan berupa alur dan retak. Hal ini dapat tercapai jika mempergunakan kadar aspal yang tinggi. Dalam campuran aspal dengan agregat, terdapat aspal yang terserap dalam agregat dan menempati volume total dari agregat. Gambar 3.4 menyajikan bagian-bagian volume dari campuran aspal dengan agregat yang dipadatkan. Beberapa definisi berikut ini sering digunakan dalam perancangan dengan metode *Marshall*.



Gambar 3.4 Skematis Jenis Volume Beton Aspal

Sumber: Sukirman (2003)

Menurut Sukirman (2003), sifat volumetrik beton aspal padat dapat diketahui dengan menggunakan beberapa parameter. Diantaranya adalah volume *bulk* (V_{mb}), VMA , VIM , dan VFA yang akan dijabarkan sebagai berikut.

1. Berat jenis *bulk* (G_{mb})

Berat jenis *bulk* (*bulk specific gravity*) dari campuran aspal yang dipadatkan dinyatakan oleh persamaan (ASTM D-1189 dan ASTM D-2726; AASHTO T-269):

$$G_{mb} = \frac{W_s}{W_{SSD} - W_{sub}} \quad (3.2)$$

dengan:

G_{mb} = berat jenis *bulk* campuran aspal dipadatkan,

W_{SSD} = berat benda uji campuran aspal jenuh air, kondisi kering permukaan SSD (*saturated surface dry condition*) (gram),

W_s = berat benda uji kering pada kondisi padat di udara, dan

W_{sub} = berat benda uji ketika di dalam air (gram).

2. Berat jenis *bulk* efektif agregat (G_{se})

Berat jenis efektif agregat adalah berat jenis dari agregat termasuk seluruh rongga pori dalam partikel agregat, tidak termasuk rongga pori yang menyerap atau terisi oleh aspal.

$$G_{se} = \frac{P_{mm} - P_b}{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}} \quad (3.3)$$

dengan:

G_{se} = berat jenis efektif agregat,

G_{mm} = berat jenis maksimum campuran aspal tidak dipadatkan,

P_{mm} = persen berat dari campuran total yang tidak dipadatkan = 100%, dan

G_b = berat jenis aspal.,

3. Berat jenis maksimum beton aspal (G_{mm})

Pada waktu merancang campuran dengan campuran agregat yang telah ditentukan, untuk menentukan persen rongga udara, maka perlu ditentukan nilai berat jenis maksimum (G_{mm}) untuk setiap kadar aspal tertentu yang divariasikan. G_{mm} adalah berat jenis teoritis maksimum dari campuran aspal (tanpa rongga udara), yang dinyatakan oleh persamaan (*The Asphalt Institute 2001*):

$$G_{mm} = \frac{P_{mm} - P_b}{\frac{P_s}{G_{se}} - \frac{P_b}{G_b}} \quad (3.4)$$

dengan:

G_{mm} = berat jenis maksimum campuran aspal tidak dipadatkan

P_{mm} = persen berat dari campuran total yang tidak dipadatkan = 100%,

P_b = kadar aspal dinyatakan dalam persen terhadap berat total campuran,

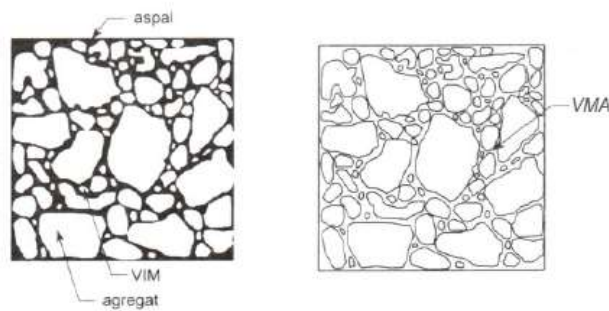
P_s = kadar agregat dinyatakan dalam persen terhadap berat total campuran,

G_{se} = berat jenis efektif agregat, dan

G_b = berat jenis aspal.

4. VMA

VMA adalah banyaknya pori di antara butir-butir agregat di dalam beton aspal padat yang dinyatakan dalam persentase. VMA akan meningkat jika selimut aspal lebih tebal, atau agregat yang digunakan bergradasi terbuka.



Gambar 3.5 Ilustrasi Pengertian VMA dan VIM

Sumber: Sukirman (2003)

Jika komposisi campuran ditentukan sebagai persentase dari berat beton aspal padat, *VMA* dapat dihitung dengan cara berikut.

Dasar perhitungan dilakukan berdasarkan volume beton aspal padat = 100 cm³.

$$VMA = \left(100 - \frac{Gmb \cdot Ps}{Gsb} \right) \quad (3.5)$$

dengan:

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

Gmb = berat jenis *bulk* dari beton aspal padat,

Ps = kadar agregat, % terhadap berat beton aspal padat, dan

Gsb = berat jenis *bulk* dari agregat pembentuk beton aspal padat.

5. *Void in Mix (VIM)*

VIM adalah volume pori yang masih tersisa setelah campuran beton aspal dipadatkan. *VIM* dibutuhkan untuk tempat bergesernya butir-butir agregat, akibat pemadatan tambahan yang terjadi oleh repetisi beban lalu lintas, atau tempat jika aspal menjadi lunak akibat meningkatnya temperatur. *VIM* yang terlalu besar akan mengakibatkan beton aspal padat berkurang kedekatan airnya, sehingga berakibat meningkatnya proses oksidasi aspal yang dapat mempercepat penuaan aspal dan menurunkan sifat durabilitas beton aspal. *VIM* yang terlalu kecil akan mengakibatkan perkerasan mengalami *bleeding* jika

temperatur meningkat. *VIM* dinyatakan dalam persentase terhadap volume beton aspal padat.

Dasar perhitungan dilakukan berdasarkan volume beton aspal padat = 100 cm³.

$$VIM = (100 \times \frac{Gmm - Gmb}{Gmm}) \quad (3.6)$$

dengan:

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

Gmb = berat jenis maksimum dari beton aspal yang belum dipadatkan, dan

Gmm = berat jenis *bulk* dari beton aspal padat.

6. *Volume of Void Filled with Asphalt (VFWA)*

VFWA adalah volume pori beton aspal padat yang terisi oleh aspal, atau volume film/selimut aspal. Aspal yang mengisi *VFWA* adalah aspal yang berfungsi untuk menyelimuti butir-butir agregat di dalam beton aspal padat, atau dengan kata lain *VFWA* merupakan persentase volume beton aspal padat yang menjadi film atau selimut aspal.

Dasar perhitungan dilakukan berdasarkan volume beton aspal padat = 100 cm³.

$$VFWA = (100 - \frac{VMA - VIM}{VMA}) \quad (3.7)$$

dengan :

VFWA = volume pori antara butir agregat yang terisi aspal, % dari *VMA*,

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

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

Untuk mendapatkan hasil yang terbaik, maka campuran *SMA* harus memiliki rangka agregat kasar yang baik. Fraksi agregat tidak ditentukan dari ukuran saringan tertentu, namun ditentukan dari total campuran agregat tertahan pada

saringan yang memiliki butiran terkecil yang tertahan paling sedikit 10% dari gradasi agregat (*breakpoint sieve*).

3.7.5 Skid Resistance (Tahanan Geser/Kekesatan)

Tahanan geser adalah kemampuan permukaan beton aspal terutama pada kondisi basah, memberikan gaya gesek pada roda kendaraan sehingga kendaraan tidak tergelincir ataupun slip. Faktor-faktor untuk mendapatkan kekesatan jalan sama dengan untuk mendapatkan stabilitas yang tinggi, yaitu kekasaran permukaan dari butir-butir agregat, luas bidang kontak antar butir atau bentuk butir, gradasi agregat, kepadatan campuran, dan tebal film aspal. Ukuran maksimum butir agregat ikut menentukan kekesatan permukaan. Dalam hal ini agregat yang digunakan tidak saja harus mempunyai permukaan yang kasar, tetapi juga mempunyai daya tahan untuk permukaannya tidak mudah menjadi licin akibat repetisi kendaraan.

3.7.6 Impermeabilitas (Kedap air)

Impermeabilitas adalah kemampuan beton aspal untuk tidak dapat dimasuki air ataupun udara ke dalam lapisan beton aspal. Air dan udara dapat mengakibatkan percepatan proses penuaan aspal, dan pengelupasan film/selimut aspal dari permukaan agregat. Jumlah pori yang tersisa setelah beton aspal dipadatkan dapat menjadi indikator kedekatan air campuran. Tingkat impermeabilitas beton aspal berbanding terbalik dengan tingkat durabilitasnya.

Permeabilitas merupakan salah satu dari karakteristik campuran aspal. Menurut Mutohar (2002), permeabilitas yaitu kemampuan permukaan perkerasan untuk menahan rembesan air ke dalam perkerasan. Sedangkan permeabilitas menurut Nur'ubay (2010) adalah sifat yang menunjukkan kemampuan material untuk meloloskan zat alir (fluida) baik udara maupun air. Mutohar (2002) mengungkapkan bahwa permeabilitas sangat penting untuk memberi rongga yang memadai di dalam perkerasan, karena angka aliran yang tinggi menunjukkan perkerasan mudah rusak dan pergerakan udara di dalam perkerasan mengakibatkan oksidasi evaporasi pada bahan ikat (aspal). Pergerakan air di dalam perkerasan mengakibatkan kelemahan pada struktur atau kegagalan dari perkerasan melalui

stripping, sehingga konstruksinya relatif rendah pada batas durabilitasnya. Nilai koefisien permeabilitas dapat di hitung menggunakan Persamaan 3.12.

$$K = \frac{V \times L \times \gamma_{\text{air}}}{P \times A \times T} \quad (3.12)$$

dengan :

- k = koefisien permeabilitas (cm/detik),
- L = tinggi sampel (cm),
- γ_{air} = berat jenis air (kg/cm³),
- P = tekanan air pengujian (kg/cm²),
- A = luas penampang benda uji (cm²), dan
- T = lama waktu perembesan (detik).

Sifat campuran beton aspal berdasarkan nilai koefisien permeabilitasnya dapat dilihat pada Tabel 3.7 dibawah ini.

Tabel 3.7 Klasifikasi Campuran Aspal Berdasarkan Angka Permeabilitas

k (cm/detik)	Permeabilitas
1×10^{-8}	<i>Impervious</i> (Kedap)
1×10^{-6}	<i>Practically impervious</i> (Hampir Kedap)
1×10^{-4}	<i>Poor drainage</i> (Drainase Jelek)
1×10^{-2}	<i>Fair drainage</i> (Drainase Sedang)
1×10^{-1}	<i>Good drainage</i> (Drainase Baik)

Sumber : Mullen (1967) dalam Nur'ubay (2010)

3.7.7 *Workability* (Kemudahan pelaksanaan)

Workability adalah kemampuan campuran beton aspal untuk mudah dihamparkan dan dipadatkan. Tingkat kemudahan dalam pelaksanaan, menentukan tingkat efisiensi pekerjaan. Faktor yang mempengaruhi tingkat kemudahan dalam proses penghamparan dan pemadatan adalah viskositas aspal, kepekaan aspal terhadap perubahan temperatur, dan gradasi serta kondisi agregat. Revisi atau

koreksi terhadap rancangan campuran dapat dilakukan jika ditemukan kesukaran dalam pelaksanaan.

Ketujuh sifat beton aspal ini tak mungkin dapat dipenuhi sekaligus oleh satu jenis campuran. Sifat-sifat beton aspal mana yang dominan lebih diinginkan, akan menentukan jenis beton aspal yang dipilih. Hal ini sangat perlu diperhatikan ketika merancang tebal perkerasan jalan. Jalan yang melayani lalu lintas ringan, seperti mobil penumpang, sepantasnya lebih memilih jenis beton aspal yang mempunyai sifat durabilitas dan fleksibilitas yang tinggi, daripada memilih jenis beton aspal dengan stabilitas tinggi.

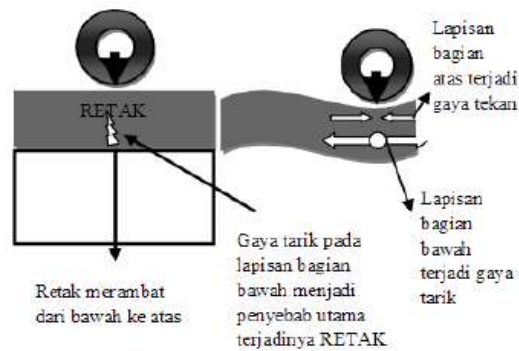
3.7.8 *Indirect Tensile Strength (ITS)*

Indirect Tensile Strength adalah suatu metode untuk mengetahui nilai gaya tarik dari campuran beton aspal. Gaya tarik terkadang digunakan untuk mengevaluasi potensi retakan (*fatigue*) pada campuran beton aspal. Sifat uji ini adalah kegagalan gaya tarik yang berguna untuk memperkirakan potensial retakan Sunarjono dan Samantha (2012). Campuran penyusun lapisan perkerasan yang baik dapat menahan beban maksimum, sehingga dapat mencegah terjadinya retakan. Retak yang disebabkan oleh pengurangan beban menyebabkan adanya gaya tarik yang dialami campuran beton aspal. Berbeda dengan beban tekan yang secara empiris dapat diperoleh dengan pengujian *Marshall* secara langsung. Besarnya beban tarik tidak dapat dilakukan pengujian secara langsung dengan *Marshall*, namun metode yang paling sesuai untuk mengetahui gaya tarik dari campuran aspal adalah dengan menggunakan metode *Indirect Tensile Strength Test* di laboratorium.

Pengujian kuat tarik tidak langsung (*ITS*) ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan material dalam menerima gaya tarik. Dikatakan tidak langsung karena tidak diuji dengan pembebanan tarik secara langsung, tetapi dihitung dari pembebanan maksimum dimana dilakukan pembebanan tekan yang dilakukan secara terus menerus dengan laju konstan sampai mencapai beban maksimum.

Menurut Sunarjono dan Samantha (2012), kerusakan pada perkerasan jalan akibat beban berulang kendaraan terjadi secara bertahap atau setahap demi setahap. Saat suatu perkerasan jalan menerima beban lalu lintas di atasnya, maka material

lapisan permukaan bagian atas mendapatkan gaya tekan sedangkan material bagian bawah mendapat gaya tarik.



Gambar 3.6 Mekanisme Terjadinya Gaya Tarik dan Kerusakan Retak

Sumber : Sunarjono dan Samantha (2012)

Beban roda kendaraan yang berhenti atau bergerak diatas struktur perkerasan seperti ditunjukkan Gambar 3.6 di atas menimbulkan gaya tekan ke bawah sehingga lapisan akan terjadi lendutan. Jika lapisan melendut, maka lapisan bagian atas terjadi gaya tekan dan sebaliknya lapisan bagian bawah terjadi gaya tarik. Akibat gaya tarik yang terjadi pada lapisan bagian bawah akan mengakibatkan retak, bila lapisan cukup tebal (>20cm) retak terjadi dari atas merambat ke bawah, dan bila lapisan tidak tebal (<20cm) retak terjadi dari bawah merambat ke atas. Nilai kuat tarik tidak langsung dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.11.

$$ITS = \frac{Pruntuh}{h} \times A_o \quad (3.11)$$

dengan:

P runtuh = beban puncak (kg),

h = tinggi benda uji (cm), dan

Ao = konstanta (tabel Ao terlampir pada Lampiran).

3.7.9 *Marshall Quotient (MQ)*

Marshall Quotient adalah perbandingan antara stabilitas dengan kelelehan plastis (*flow*) yang digunakan sebagai pendekatan terhadap tingkat kekakuan campuran (Djalante, 2011). Campuran dengan stabilitas tinggi dan kelelehan plastis yang rendah akan menghasilkan nilai *MQ* yang tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa campuran tersebut kaku, sehingga perkerasan mudah mengalami perubahan bentuk jika mengalami beban lalu lintas. Sebaliknya, campuran dengan stabilitas yang rendah dengan kelelehan plastis yang tinggi menghasilkan *MQ* rendah, sehingga cenderung plastis dan tidak stabil (Muaya, 2015). Nilai *MQ* dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.9.

$$MQ = \frac{q}{r} \quad (3.10)$$

dengan :

MQ = nilai *Marshall Quotient* (kg/mm),

q = nilai stabilitas (kg), dan

r = nilai kelelehan plastis/ *flow* (mm).

3.8 *Pengujian Cantabro*

Pengujian *Cantabro* bertujuan untuk menentukan ketahanan benda uji terhadap keausan dengan menggunakan mesin *Los Angeles*. Benda uji yang di diamkan selama 48 jam pada suhu ruang minimal 6 jam sebelum pengujian suhu harus dijaga berada pada suhu ruang. Sebelum benda uji dimasukkan kedalam drum mesin *Los Angeles* terlebih dahulu ditimbang untuk mendapatkan berat sebelum diabrasi (*Mo*). Selanjutnya benda uji dimasukkan kedalam drum mesin *Los Angeles* tanpa bola baja. Mesin *Los Angeles* kemudian di jalankan dengan kecepatan antara 30-33 rpm sebanyak 300 putaran. Setelah selesai benda uji dikeluarkan dan ditimbang dengan berat setelah abrasi (*Mi*). Kehilangan berat dapat dihitung dengan Persamaan 3.10.

$$L = \frac{M_o}{M_i} \times 100\% \quad (3.10)$$

dengan:

L = persentase kehilangan berat (%),

M_o = berat sebelum diabrasi (gr), dan

M_i = berat setelah diabrasi (gr).