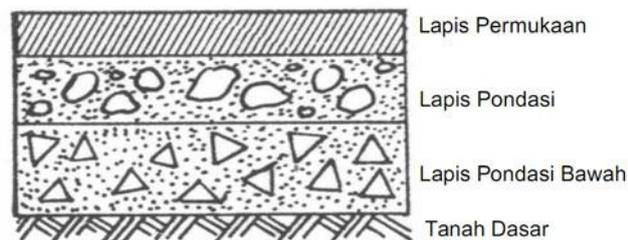


BAB III LANDASAN TEORI

3.1 Perkerasan Lentur Jalan

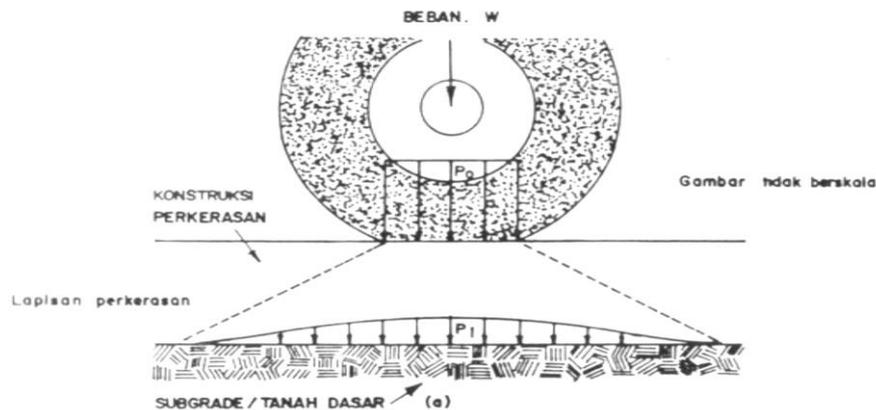
Lapisan perkerasan lentur merupakan lapisan penerima beban lalu lintas kemudian menyebarkan beban tersebut ke lapisan dibawahnya tanpa menimbulkan kerusakan pada konstruksi jalan itu sendiri. Dengan demikian lapisan perkerasan ini memberikan kenyamanan kepada pengguna jalan selama masa pelayanannya. Perkerasan lentur (*flexible pavement*) menggunakan aspal sebagai bahan ikatnya dan pengaruhnya terhadap repetisi beban adalah timbulnya *rutting* (lendutan pada jalur roda) kemudian pengaruhnya terhadap penurunan tanah dasar yaitu jalan menjadi bergelombang. Komponen pada perkerasan lentur dapat dilihat pada Gambar 1.1 berikut.



Gambar 3. 1 Susunan Lapis Perkerasan Jalan

(Sumber : Departemen Pekerjaan Umum, 1987)

Menurut Sukirman (2003) Fungsi dari lapisan-lapisan tersebut adalah untuk menerima dan menyebarkan beban lalu lintas ke lapisan di bawahnya. Material utama dalam lapisan perkerasan jalan adalah agregat yang diikat oleh bahan ikat berupa aspal dan semen untuk membentuk perkerasan kedap air. Perkerasan lentur adalah perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan ikatnya. Penyebaran beban roda melalui lapisan perkerasan jalan dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut.



Gambar 3. 2 Penyebaran Beban Roda Melalui Lapisan Perkerasan Jalan
(Sumber : Sukirman, 1992)

3.2 Material Penyusun Perkerasan Lentur

Perkerasan jalan adalah campuran antara agregat dan bahan ikat yang digunakan untuk melayani beban lalu lintas. Agregat yang biasanya dipakai dalam perkerasan jalan adalah batu pecah, batu belah batu kali, dan hasil samping peleburan baja. Sedangkan bahan ikat yang dipakai antara lain adalah semen dan aspal. Perkerasan dibagi menjadi perkerasan lentur (*flexible pavement*), perkerasan kaku (*rigid pavement*) dan perkerasan komposit yang merupakan gabungan dari konstruksi perkerasan lentur dan perkerasan kaku.

Perkerasan lentur (*flexible pavement*) adalah perkerasan yang menggunakan bahan ikat berupa aspal yang bersifat lentur terutama pada saat panas. Perkerasan lentur pada umumnya tersusun dari bahan pengikat berupa aspal, agregat, bahan pengisi (*filler*), dan bahan stabilisasi aspal yang ditebar di jalan pada suhu tinggi kemudian dipadatkan. Perkerasan lentur mendistribusikan beban lalu lintas ke tanah dasar yang dipadatkan melalui lapisan permukaan (*surface*), lapisan pondasi atas (*base course*), lapisan pondasi bawah (*subbase course*), dan lapisan tanah dasar (*subgrade*).

3.2.1 Aspal

Aspal merupakan material berwarna hitam atau coklat tua yang bersifat termoplastis dan terbuat dari komposisi karbon, hidrogen, oksigen dan nitrogen. Menurut Sukirman (2003) aspal adalah material yang pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat, dan bersifat termoplastis. Jadi, aspal akan

mencair jika dipanaskan sampai temperature tertentu, dan kembali membeku jika temperatur turun. Bersama dengan agregat, aspal merupakan material pembentuk campuran perkerasan jalan.

Aspal berfungsi sebagai pelicin pada saat proses pemadatan, mengisi ruang kosong yang tersisa, dan pada saat suhu pemadatan menurun, aspal akan membeku menjadi pengganjal sehingga agregat diikat dan diganjal pada tempatnya.

Menurut Sukirman (2003), berdasarkan tempat diperolehnya, aspal dibedakan menjadi aspal alam dan aspal minyak. Aspal alam diperoleh dari gunung-gunung, seperti Aspal Batu Buton (Asbuton) dari Pulau Buton, dan aspal danau seperti *Trinidad Lake Asphalt*. Sedangkan aspal minyak adalah aspal yang diperoleh dari proses hasil residu dari destilasi minyak bumi. Residu aspal berbentuk padat, tetapi melalui pengolahan, hasil residu ini dapat pula berbentuk cair atau emulsi pada temperatur ruang. Jadi, jika dilihat bentuknya pada temperatur ruang, aspal dibedakan menjadi aspal padat, aspal cair, dan aspal emulsi. Untuk selanjutnya, yang akan dibahas lebih lanjut hanya mengenai aspal padat.

Aspal padat adalah aspal yang berbentuk padat atau semi padat pada suhu ruang dan menjadi cair jika dipanaskan. Aspal padat disebut juga sebagai aspal semen (*asphalt cement*). Aspal semen merupakan aspal yang digunakan untuk konstruksi perkerasan jalan hingga saat ini. Di Indonesia, aspal pen 60/70 adalah yang umum digunakan sebagai bahan ikat perkerasan lentur jalan. Ketentuan-ketentuan untuk aspal keras dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3. 1 Ketentuan-Ketentuan Aspal Keras

No.	Jenis Pengujian	Metode 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 06-2434-2011	≥48
5.	Daktilitas Pada 25°C (Cm)	SNI 06-2432-2011	≥100
6.	Titik Nyala (°C)	SNI 06-2433-2011	≥232

Lanjutan Tabel 3.1 Ketentuan-Ketentuan Aspal Keras

No.	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Aspal Pen. 60-70
7.	Kelarutan Dalam Trichloroethylene (%)	AASHTO T44-03	≥99
8.	Berat Jenis	SNI 06-2441-2011	≥1,0
9.	Stabilitas Penyimpanan : Perbedaan Titik Lembek (°C)	ASTM D 5976 part 6.1	-
10.	Partikel yang Lebih Halus Dari 150 Micron (µm) (%)		

Sumber : Bina Marga 2010

3.2.2 Agregat

Menurut Soehartono (2014) dalam Yusuf (2017), agregat merupakan padatan yang mengisi rongga secara pejal, meskipun terdiri dari berbagai ukuran. Berdasarkan ukuran butirnya, agregat dibedakan menjadi agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi (*filler*). Spesifikasi Umum Bina Marga (2010) membedakan agregat menjadi tiga golongan sebagai berikut ini.

1. Agregat kasar, yaitu agregat yang tertahan saringan No. 4 (= 4,75 mm).
2. Agregat halus, yaitu agregat yang lolos saringan No. 4 (= 4,75 mm).
3. Bahan pengisi (*filler*), yaitu bagian dari agregat halus yang minimum 75% lolos saringan No. 200 (= 0,075 mm).

Ketentuan agregat kasar dan agregat halus untuk campuran panas beton aspal dapat dilihat pada Tabel 3.2 dan Tabel 3.3. Ketentuan untuk penyerapan air oleh agregat adalah maksimum 3%.

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 Angels	Campuran AC Modifikasi	SNI 2417:2008	100 putaran	Maks. 6 %
			500 putaran	Maks. 30 %
	Semua jenis campuran aspal bergradasi lainnya		100 putaran	Maks. 8 %
			500 putaran	Maks. 40 %

Lanjutan Tabel 3.2 Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian	Standar	Nilai
Kelekatan agregat 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 02-4142- 1996	Maks. 2 %
<u>Catatan :</u> *) 95/90 menunjukkan bahwa 95% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih dan 90% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah dan atau lebih.		

Sumber : Bina Marga 2010

Tabel 3. 3 Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Standar	Nilai
Nilai setara pasir	SNI 03-4468-1997	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 C117:2002	Maks. 10%

Sumber : Bina Marga 2010

3.2.3 Bahan Pengisi (*Filler*)

Menurut Bina Marga tahun 2010 dengan standar SNI 03-6723-2002, *filler* adalah suatu mineral agregat berbutir halus yang lolos saringan No. 200 dan tidak kurang dari 75% terhadap beratnya. *Filler* mempunyai fungsi sebagai pengisi rongga dalam campuran (*void in mix*) sehingga memberikan kontribusi untuk meningkatkan kepadatan. Menurut Bina Marga (2007), *filler* merupakan material pengisi yang terdiri dari debu batu, abu kapur (*limestone dust*), abu terbang, semen (PC) atau bahan non plastis lainnya yang harus kering dan bebas dari gumpalan-gumpalan dan bahan-bahan lain yang mengganggu.

Pemberian *filler* pada campuran lapis keras mengakibatkan lapis keras mengalami berkurangnya kadar pori. Partikel *filler* menempati rongga diantara partikel-partikel yang lebih besar, sehingga ruang diantara partikel-partikel besar menjadi berkurang. Secara umum penambahan *filler* ini dimaksudkan untuk menambah stabilitas serta kerapatan dari campuran aspal.

Adapun fungsi dari *filler* adalah :

1. Untuk memodifikasi gradasi agregat halus, sehingga berat jenis agregat meningkat dan jumlah aspal yang diperlukan untuk mengisi rongga akan berkurang.
2. Mengisi ruang antar agregat halus dan kasar serta meningkatkan kepadatan dan stabilitas.
3. Mengisi rongga dan menambah bidang kontak antar butir agregat sehingga akan meningkatkan kekuatan campuran.
4. Bila dicampur dengan aspal, *filler* akan membentuk bahan pengikat yang berkonsistensi tinggi sehingga mengikat butiran agregat secara bersama-sama.
5. Mengurangi rongga udara (*air void*).

Salah satu *filler* yang sering digunakan pada campuran beraspal yaitu *filler* debu batu. Penelitian yang pernah dilakukan oleh Tahami, dkk (2018) dengan menggunakan *Scanning Electron Microscopy (SEM)* yang diterapkan untuk memeriksa bentuk dan tekstur permukaan pengisi sehingga dapat diketahui morfologi mikroskopis dari partikel debu batu dari *SEM*. Hasil pengujian didapatkan bahwa partikel debu batu memiliki permukaan yang halus hingga agak kasar dan sedikit porositas. *SEM* debu batu dapat dilihat pada Gambar 3.3 berikut ini.

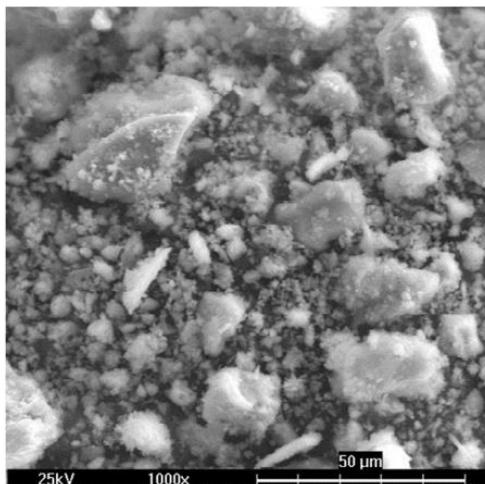


Gambar 3. 3 SEM Filler Debu Batu

(Sumber : Tahami, dkk 2016)

Filler pengganti yang digunakan pada penelitian ini adalah dari serbuk batu bata. Batu bata merupakan material yang dibuat dari tanah liat yang dicetak kemudian dibakar. Batu bata dijadikan sebagai *filler* pengganti karena memiliki komposisi yang tergolong sebagai pozzolan menyerupai sifat semen dan kandungan silika yang tinggi diharapkan dapat mengurangi kadar aspal dan meningkatkan stabilitas campuran. Penggunaan *filler* SBB bertujuan untuk mengurangi limbah pada batu bata yang gagal diproduksi, selain itu batu bata juga memiliki kandungan silika dan alumina yang hampir sama seperti kandungan yang dimiliki oleh semen, Firdaus (2013).

Penelitian sejalan dilakukan oleh Ambarwati dan Arifin (2009), penggunaan silika dalam campuran meningkatkan potensi stabilitas dan durabilitas pada campuran aspal karena komposisi batu bata yang tergolong sebagai *pozzolan*. Menurut Rovnaník, dkk (2016) pada pengujian serbuk batu bata dengan mikrograf yang diambil dalam mode SE dari sampel kering dengan menggunakan mikroskop elektron menunjukkan bahwa bubuk batu bata terdiri dari butiran yang tajam dan lebih berpori. Gambar hasil uji mikrograf serbuk batu bata dapat dilihat pada Gambar 3.3 berikut ini.



Gambar 3. 4 Mikrograf pada Serbuk Batu Bata

(Sumber : Rovnanik, 2016)

3.2.4 Serat Selulosa

Split Mastic Asphalt (SMA) merupakan campuran beton aspal panas yang bergradasi terbuka dengan kandungan agregat kasar yang cukup tinggi dan juga memiliki kandungan aspal yang relatif tinggi yang ditambahkan bahan aditif yang berfungsi untuk menstabilkan kadar aspal yang tinggi. Salah satu alternatif bahan aditif yang dapat digunakan sebagai bahan tambah untuk campuran beton aspal yaitu serat selulosa. Dedak padi adalah salah satu contoh serat selulosa alami yang biasa dikenal dengan nama *cellulose rice fiber*. Untuk karakteristik dari material serat dapat dilihat pada Tabel 3.4 berikut.

Tabel 3. 4 Karakteristik dari Material Serat

Jenis Serat	Diameter (micron)	Panjang (mm)	Berat Jenis
<i>Chrysolite</i>	0,1 – 1	0,5 – 1,0	2,7
<i>Rock Wool</i>	3 – 7	0,2 – 0,8	2,7
<i>Glass Wool</i>	5 – 6	0,2 – 1,0	2,5
<i>Cellulose</i>	20 - 40	0,9 – 1,5	0,9

Sumber : *Asphalt Surfacing* (1998) dalam Tahir (2011)

3.3 Persyaratan Bahan Perkerasan

Menurut Departemen Pekerjaan Umum (2005) beberapa sifat campuran yang harus dimiliki oleh campuran beraspal adalah stabilitas (*stability*) yang tinggi,

keawetan/daya tahan (*durability*) yang tinggi, kelenturan (*flexibility*) tinggi, ketahanan terhadap penggelinciran atau geser/kekesatan (*skid resistance*), ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue resistance*), kemudahan pelaksanaan (*workability*), impermeabilitas (*impermeability*). Berikut merupakan penjelasan mengenai sifat-sifat campuran pada aspal.

3.3.1 Stabilitas (*Stability*)

Stabilitas merupakan kemampuan lapisan perkerasan untuk menerima beban lalu lintas tanpa mengalami perubahan bentuk pada strukturnya. Stabilitas campuran diperoleh dari gaya gesekan antar partikel (*internal friction*), gaya penguncian dan gaya adhesi yang baik antar agregat dan aspal. Untuk memperoleh perkerasan yang stabil maka harus diperhatikan mengenai jenis bahan, keadaan fisik bahan dan kualitas pada bahan dengan cara pemeriksaan di laboratorium.

Dengan jenis bahan yang baik dapat menghasilkan stabilitas yang tinggi, terutama pada gradasi agregat yang rapat menimbulkan rongga antar butiran (*Voids in Mineral Agregat/VMA*) yang kecil dan membutuhkan kadar aspal yang rendah. Namun keadaan tersebut menghasilkan film aspal yang tipis karena aspal yang menyelimuti agregat jumlahnya sedikit. Film aspal yang tipis mengakibatkan lapisan menjadi kaku, getas dan tidak lagi kedap air. Sebaliknya, apabila kadar aspal tinggi akan menimbulkan pengikatan aspal dengan agregat yang kurang baik karena *VMA* yang kecil dan menghasilkan rongga antar campuran (*Void In Total Mix/VITM*) yang kecil juga. Dampak dari kondisi tersebut adalah akan keluarnya aspal (*bleeding*) apabila beban lalu lintas tinggi dan suhu yang tinggi juga.

3.3.2 Durabilitas/Keawetan (*Durability*)

Durabilitas merupakan kemampuan untuk menahan keausan yang diakibatkan oleh beban lalu lintas, gesekan antara roda kendaraan dengan permukaan jalan, perubahan suhu, cuaca, dan air. Selain hal-hal tersebut, proses pemadatan juga mempunyai peran sangat penting pada kinerja beton aspal. Pada saat dilakukan proses pemadatan, maka rongga antar butiran atau campuran menjadi kecil dan rapat sehingga diperoleh suatu lapisan kedap air. Hasil pemadatan yang optimal dapat tercapai jika pemadatan tersebut dilakukan pada suhu tertentu dan sesuai dengan spesifikasi. Jika tidak memenuhi spesifikasi, maka

akan terdapat rongga (*void*) yang nantinya akan dengan mudah dimasuki oleh air sehingga lapisan menjadi cepat getas dan menyebabkan sifat durabilitasnya berkurang. Faktor yang mempengaruhi durabilitas lapis aspal beton adalah:

1. *Voids In the Total Mix (VITM)* kecil sehingga lapis kedap air dan udara tidak masuk ke dalam campuran yang menyebabkan terjadinya oksidasi dan aspal menjadi rapuh (getas).
2. *Void In Mineral Aggregate (VMA)* besar sehingga film aspal dapat dibuat tebal. Jika *VMA* dan *VITM* kecil serta kadar aspal tinggi maka kemungkinan terjadinya *bleeding* cukup besar.
3. *Film* (selimut) aspal, *film* aspal yang tebal dapat menghasilkan lapis aspal beton yang durabilitas tinggi tapi rentan menyebabkan *bleeding*.

3.3.3 Kelenturan (*Flexibility*)

Kelenturan atau fleksibilitas adalah kemampuan lapis perkerasan untuk mengatasi lendutan akibat beban lalu lintas yang berulang-ulang tanpa mengalami perubahan bentuk. Lendutan tersebut dapat disebabkan oleh penurunan dan pergerakan yang ditimbulkan dari tanah dasar. Penggunaan gradasi yang relatif terbuka dan penambahan kadar aspal tertentu dapat menghasilkan fleksibilitas yang baik karena dapat menambah ketahanan terhadap pembebanan.

3.3.4 Tahanan Geser/Kekesatan (*Skid Resistance*)

Merupakan kekesatan pada permukaan lapis perkerasan untuk menghindari slip pada roda kendaraan yang melintas di atasnya. Untuk memperoleh tahanan geser yang tinggi maka harus diperhatikan kepadatan campurannya, tebal selimut aspal, perhitungan kadar aspal yang tepat, penggunaan agregat yang memiliki permukaan yang kasar dan bergradasi baik.

3.3.5 Ketahanan Kelelahan (*Fatigue Resistance*)

Ketahanan kelelahan merupakan ketahanan lapis aspal beton dalam menerima beban berulang tanpa terjadinya kelelahan yang berupa alur dan retak. Ketahanan terhadap kelelahan dipengaruhi oleh rongga antar campuran yang tinggi dan kadar aspal yang rendah akan mengakibatkan kelelahan yang cepat, sedangkan rongga antar butiran agregat dan kadar aspal yang tinggi dapat mengakibatkan lapis perkerasan menjadi fleksibel.

3.3.6 Kemudahan Pekerja (*Workability*)

Workability adalah kemudahan untuk menghamparkan dan memadatkan suatu campuran beton aspal sampai diperoleh hasil kepadatan yang diharapkan. Faktor yang mempengaruhi kemudahan dalam proses penghamparan dan pemadatan adalah *viskositas* aspal, agregat yang bergradasi baik, dan temperatur campuran.

3.3.7 Kedap Air (*Impermeability*)

Kemampuan beton aspal untuk tidak dimasuki oleh air ataupun udara ke dalam lapisan beton aspal. Air dan udara dapat mengakibatkan percepatan proses penuaan aspal dan pengelupasan selimut aspal dari permukaan agregat. Tingkat *impermeabilitas* beton aspal berbanding terbalik dengan tingkat durabilitasnya.

3.4 Karakteristik Pengujian *Marshall*

Menurut Sukirman (2003), kinerja beton aspal padat ditentukan melalui pengujian benda uji yang meliputi hal-hal berikut.

1. Penentuan berat volume benda uji.
2. Pengujian nilai stabilitas, adalah kemampuan maksimum beton aspal padat menerima beban sampai terjadi kelelahan plastis.
3. Pengujian kelelahan (*flow*), adalah besarnya perubahan bentuk plastis dari beton aspal padat akibat adanya beban sampai batas keruntuhan.
4. Perhitungan Kuosien *Marshall*, adalah perbandingan antara nilai stabilitas dan *flow*.
5. Perhitungan berbagai jenis volume pori dalam beton aspal padat (*VITM*, *VMA*, dan *VFA*).
6. Perhitungan tebal selimut atau film aspal.

Kinerja struktur campuran beton aspal merupakan kemampuan campuran untuk dapat menerima beban terkait dengan fungsi strukturalnya. Menurut Fauziah dan Handaka (2017), karakteristik *Marshall* campuran beton aspal utamanya dinilai dari kekuatan dan kelenturan campuran yang diukur dari nilai stabilitas, kelelahan dan *MQ*, serta didukung oleh karakteristik rongga yang meliputi *VITM*, *VFWA*, *VMA*, dan kerapatan.

3.4.1 Nilai Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan resistensi suatu campuran beton aspal terhadap deformasi akibat beban lalu lintas. Nilai stabilitas campuran beton aspal sangat dipengaruhi oleh *frictional resistance* dan *interlocking* yang terjadi antara partikel agregat dan kohesi campurannya. Menurut Sukirman (2003) 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 berikut.

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

dengan:

q = nilai stabilitas,

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

q = angka koreksi benda uji.

3.4.2 Kelelahan (*Flow*)

Kelelahan plastis (*flow*) adalah keadaan perubahan bentuk suatu campuran yang terjadi akibat suatu beban sampai batas runtuh. Nilai kelehan yang tinggi memberikan ciri campuran yang plastis disebabkan kadar aspal yang tinggi. Sedangkan jika nilai kelelahan amat rendah akan memberikan ciri campuran yang kaku disebabkan kadar aspal yang rendah.

Seperti halnya cara memperoleh nilai stabilitas, nilai *flow* merupakan nilai dari masing-masing yang ditunjukkan oleh jarum dial. Hanya saja jarum dial *flow* biasanya dalam satuan mm (millimeter). Suatu campuran yang memiliki kelelahan yang rendah akan lebih kaku dan kecenderungan untuk mengalami retak dini pada usia pelayanannya.

3.4.3 Marshall Quotient (*MQ*)

Merupakan hasil bagi stabilitas dengan kelelahan. Semakin tinggi nilai *MQ*, maka kemungkinan akan semakin tinggi kekakuan suatu campuran dan semakin rentan campuran tersebut terhadap keretakan. Menurut Muaya (2015) campuran dengan stabilitas tinggi dan kelelahan 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 kelelahan plastis yang tinggi menghasilkan *MQ* rendah, sehingga cenderung plastis dan tidak stabil. Nilai *MQ* dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.2 berikut.

$$MQ = \frac{q}{r} \quad (3.2)$$

dengan :

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

q = nilai stabilitas (kg), dan

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

3.4.4 *Void In the Total Mix (VITM)*

Void In the Total Mix (VITM) atau Rongga udara dalam campuran perkerasan beraspal terdiri atas ruang udara diantara partikel agregat yang terselimuti aspal. Nilai *VITM* berpengaruh terhadap keawetan dari campuran aspal agregat, semakin tinggi nilai *VITM* menunjukkan semakin besar rongga dalam campuran sehingga campuran bersifat porous. *VITM* yang terlalu besar akan mengakibatkan beton aspal padat berkurang kedapannya, sehingga berakibat meningkatnya proses oksidasi aspal yang dapat mempercepat penuaan aspal dan menurunkan sifat durabilitas beton aspal. *VITM* yang terlalu kecil akan mengakibatkan perkerasan mengalami *bleeding* jika temperatur meningkat. Volume rongga udara dalam campuran dapat ditentukan dengan Persamaan 3.3 berikut.

$$VITM = \left(100 \times \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \right) \quad (3.3)$$

dengan:

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

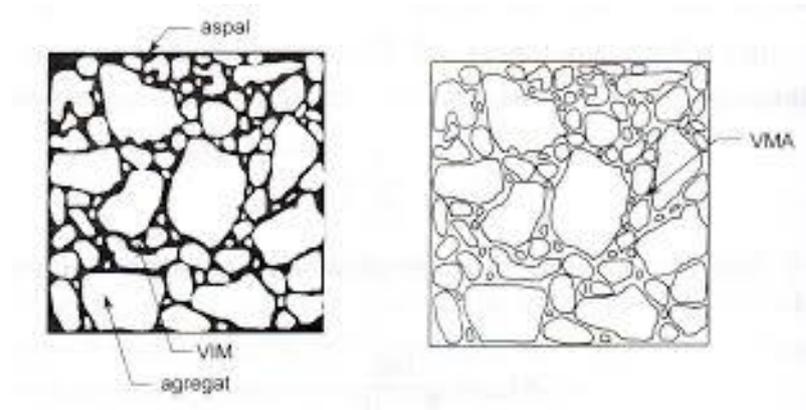
G_{mm} = berat jenis maksimum dari beton aspal yang belum dipadatkan, dan

G_{mb} = berat jenis *bulk* dari beton aspal padat.

3.4.5 *Void in Mineral Agregat (VMA)*

Void in Mineral Agregat (VMA) adalah persentase ruang rongga diantara partikel agregat pada suatu perkerasan, termasuk rongga udara dan volume aspal

efktif (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat). Ilustrasi pengertian VMA dan *VITM* dapat dilihat pada Gambar 3.3 sebagai berikut.



Gambar 3. 5 Ilustrasi Pengertian VMA dan *VITM*

(Sumber : Sukirman, 2003)

Perhitungan *VMA* terhadap campuran adalah dengan Persamaan 3.4 berikut.

$$VMA = 100 - \frac{(100-B) \times G}{bJ \text{ Bulk Agg}} \quad (3.4)$$

dengan :

VMA = rongga dalam agregat mineral (persen volume curah),

B = % aspal terhadap campuran, dan

G = Berat isi campuran.

3.4.6 Volume of Void Filled with Asphalt (VFWA)

VFWA adalah volume pori beton aspal padat yang terisi oleh aspal. Faktor – faktor yang mempengaruhi *VFWA* antara lain kadar aspal, gradasi agregat, energi pemadat (jumlah dan temperatur pemadatan), dan absorpsi agregat. Mengecilnya nilai *VMA* pada kadar aspal yang tetap, berakibat memperbesar presentase *VFWA*. Perhitungan *VFWA* dapat dihitung dengan Persamaan 3.5 berikut.

$$VFWA = \frac{100 (VMA - VIM)}{VMA} \quad (3.5)$$

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

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

3.5 *Split Mastic Asphalt (SMA) 0/11*

Menurut Riyanto dan Wahyono (2015) *SMA (Split Mastic Asphalt)* adalah salah satu jenis konstruksi *hot mix* bergradasi terbuka, yang tersusun atas *split* (agregat besar dengan kadar tinggi $\pm 75\%$), *mastic asphalt* (campuran agregat sedang, *filler* dan aspal dengan kadar relatif tinggi), serta bahan *additive* yang dicampur di *AMP (Asphalt Mixing Plant)* dalam keadaan panas.

Sedangkan menurut Tahir (2011) *split* terdiri dari agregat kasar dengan jumlah fraksi yang tinggi, untuk mastik aspal terdiri dari campuran agregat halus, *filler* dan aspal dengan kadar yang relatif tinggi. Sedangkan untuk bahan tambahnya digunakan serat selulosa, yang berfungsi untuk menstabilkan aspal, serta menghasilkan mutu campuran beton aspal yang lebih tahan terhadap oksidasi, retak, *bleeding* yang disebabkan muatan lebih dan keausan akibat roda kendaraan. Lapisan ini terutama digunakan untuk jalan-jalan dengan lalu lintas yang berat. Ada 3 jenis *SMA* yaitu seperti berikut ini.

1. *SMA 0/5* dengan tebal perkerasan 1,5 – 3 cm untuk pemeliharaan dan perbaikan setempat seperti perbaikan deformasi pada jalur roda ban (*rutting*).
2. *SMA 0/8* dengan tebal perkerasan 2 – 4 cm untuk pelapisan *overlay* pada jalan lama.
3. *SMA 0/11* dengan tebal perkerasan 3-5 cm untuk lapis aus (*wearing course*) pada jalan baru.

Split Mastic Asphalt (SMA) merupakan campuran yang terdiri dari beberapa material yang bercampur menjadi satu, menurut Tahir (2011) *Split Mastic Asphalt (SMA)* mempunyai karakteristik sebagai berikut.

1. Mampu melayani lalu lintas berat
2. Tahan terhadap oksidasi
3. Tahan terhadap deformasi pada temperatur tinggi

4. Fleksibel.
5. Tahan terhadap panas atau temperatur tinggi.
6. Kedap air
7. Aman untuk lalu lintas karena kekesatan (*skid resistance*) baik.

Penelitian SMA difokuskan pada ukuran grading 0/11, yang biasanya untuk *wearing course* atau jalan baru. Untuk spesifikasi pemakaian SMA dapat dilihat pada Tabel 3.5 dan 3.6 berikut.

Tabel 3. 5 Spesifikasi Campuran SMA Grading 0/11

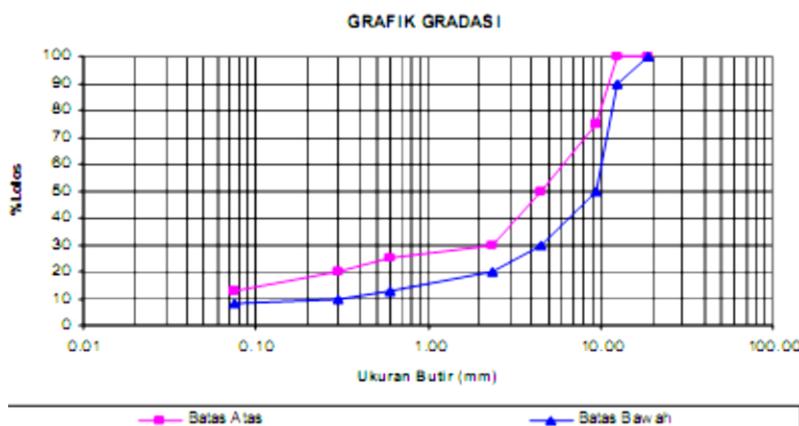
No.	SMA	Grading 0/11
1	Agregat	
	< 0,09 mm, berat (%)	8 to 13
	> 2 mm, berat (%)	70 to 80
	> 5 mm, berat (%)	50 to 70
	> 8 mm, berat (%)	> 25
	> 11,2 mm, berat (%)	< 10
2	Aspal	
	Jenis	Pen 60 – 70 Pen 80 - 100
	Kadar, % berat	6,50 – 7,50
3	Additive	
	Jenis	Serat selulosa
	Kadar	0,3 terhadap total campuran
4	Kriteria desain Marshall	
	Pemadatan, (tumbukan)	2 x 75
	Stabilitas min, (kg)	670
	Kelelehan/ <i>flow</i> , (mm)	2 – 4
	<i>MQ</i> , (kg/mm)	190 – 300
	Rongga dalam campuran, (%)	3 – 5
	Rongga terisi aspal, (%)	76 – 82
Indeks perendaman 48 jam suhu 60° C, (%)	> 75	
5	Tebal pengaspalan, (cm)	3 - 5
6	Derajat kepadatan, (%)	>97

Sumber : Bina Marga, DPU 1993

Tabel 3. 6 Spesifikasi Gradasi Agregat Pada Campuran SMA 0/11

No	Ukuran Saringan (mm)	Lolos Saringan (%)	Ideal (%)
1	19	100	100
2	12,5	90-100	95
3	9,5	50-75	62,5
4	4,75	30-50	40
5	2,36	20-30	25
6	0,60	13-25	19
7	0,30	10-20	15
8	0,075	8-13	10,5

Sumber: Kimbangwil (1999) dalam Perwitasari (2013)

**Gambar 3. 6 Grafik Gradasi Campuran *Split Mastic Asphalt* (SMA)**

(Sumber : Bina Marga, 1983)

3.6 Air Laut

Air merupakan salah satu penyebab kerusakan pada perkerasan. Derajat Keasaman yang tinggi pada air laut dibanding air hujan, dapat mempengaruhi ikatan antara aspal dan agregat yang mempercepat terjadinya oksidasi sehingga menyebabkan terjadinya kerusakan dini pada lapisan permukaan jalan. Kondisi ini dapat diperparah, apabila jalan terendam dalam waktu lebih dari 24 jam (standar kekuatan sisa *Marshall*), dan terbebani oleh beban kendaraan yang melebihi batas yang telah ditentukan.

Menurut Muaya (2015) derajat keasaman atau pH air laut berkisar antara 8,2 sampai dengan 8,4 yang mengandung air sebanyak 96,5%, sedangkan material terlarut dalam bentuk molekul dan ion sebanyak 3,5%. Material yang terlarut

tersebut, 89% terdiri dari garam klor dan 11% sisanya terdiri dari unsur-unsur lain. Garam-garaman utama yang terdapat dalam air laut adalah klorida, natrium, sulfat, magnesium, kalsium, bikarbonat, bromide, asam borak, strontium dan florida. Sumber utama garam-garaman di laut adalah pelapukan batuan di darat, gas-gas vulkanik, dan sirkulasi lubang-lubang hidrotermal (*hydrothermal vents*) di laut dalam. Beberapa hal yang menyebabkan air laut bersifat sangat merusak adalah sebagai berikut ini.

1. Air laut merupakan elektrolit yang bersifat konduktivitas tinggi.
2. Memiliki kandungan oksigen terlarut yang tinggi.
3. Temperatur permukaan air laut umumnya tinggi.
4. Ion klorida yang terkandung pada air laut merupakan ion agresif.

3.7 Pengujian Perendaman (*Immersion Test*)

Salah satu metode yang digunakan dalam mengevaluasi pengaruh air terhadap campuran perkerasan aspal adalah pengujian Perendaman *Marshall* yang mana stabilitas dari benda uji ditentukan setelah satu hari perendaman di dalam air pada suhu 60 °C. Menurut *AASHTO* (1993) menggambarkan sebuah prosedur yang berdasarkan kepada pengukuran kehilangan dari hasil sebuah kekuatan tekan dari aksi air pada pemadatan campuran aspal. Suatu indeks numerik dari berkurangnya kekuatan tekan diperoleh dengan membandingkan kekuatan tekan benda uji yang telah direndam di dalam air selama 24 jam pada suhu 60 ± 1 °C dan 30 menit di dalam air pada suhu 25 ± 1 °C di bawah kondisi yang ditentukan.

Spesifikasi Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah untuk mengevaluasi keawetan campuran adalah pengujian *Marshall* perendaman di dalam air pada suhu 60 °C selama 24 jam. Perbandingan stabilitas yang direndam dengan stabilitas standar, dinyatakan sebagai persen, dan disebut Indeks Stabilitas Sisa (*IRS*), dan dihitung menggunakan Persamaan 3.6 berikut.

$$IRS = \frac{MS_i}{MS_s} \times 100 \quad (3.6)$$

dengan :

IRS = indeks Stabilitas Sisa (%),

MS_s = stabilitas *Marshall* Standar (kg), dan

MS_i = stabilitas *Marshall* Perendaman (kg).

Spesifikasi Baru Beton Aspal Campuran Panas mensyaratkan IRS harus lebih besar dari 80 %.

3.8 *Indirect Tensile Strength Test (ITS)*

ITS ialah kemampuan untuk menahan gaya luar yang cenderung menarik elemen benda uji secara bersamaan. *Indirect Tensile Strength Test* adalah sebuah pengujian gaya tarik tidak langsung yang bertujuan mengetahui karakter *tensile* dari campuran perkerasan. Sifat uji ini adalah untuk memperkirakan potensi retakan pada campuran aspal.

Sunarjono dan Samantha (2012) menyatakan retak yang disebabkan oleh pengulangan 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.

Test ini menggunakan prinsip pembebanan *Marshall* dengan 12,5 mm *wide concave loading strip*. Benda uji silinder yang dibebani kemudian dihubungkan secara paralel pada dan sepanjang bidang diameter secara vertikal. Ini menghasilkan tegangan tarik tegak lurus terhadap arah pembebanan dan sepanjang bidang vertikal dari diameter, yang secara otomatis menyebabkan benda uji gagal/rusak sepanjang diameter vertikal. Berdasarkan beban maksimum yang bekerja pada benda uji pada saat mengalami kegagalan, ITS dapat dihitung dengan Persamaan 3.7 berikut.

$$ITS = \frac{P_{runtuh}}{h} \times A_o \quad (3.7)$$

dengan :

ITS = nilai kuat tarik secara tidak langsung (kg/cm^2),

P runtuh = beban puncak (kg),

h = tinggi benda uji (cm), dan

A_0 = konstanta.

3.9 Pengujian Permeabilitas

Permeabilitas merupakan sifat yang menunjukkan kemampuan perkerasan untuk dilalui atau dirembesi oleh fluida melalui hubungan antar pori dimana semakin kecil angka pori, maka koefisien permeabilitas semakin besar. Parameter ini secara langsung berpengaruh terhadap kekuatan material jalan itu sendiri. Oleh karena itu, permeabilitas campuran aspal merupakan hal penting yang harus diperhatikan agar dapat menghasilkan konstruksi perkerasan jalan yang mempunyai ketahanan yang baik.

Susanto, dkk (2014) mengungkapkan bahwa permeabilitas sangatlah penting sebagai salah satu parameter untuk mengukur kemampuan struktur perkerasan aspal dalam menahan rembesan air yang bisa merusak lapisan perkerasan aspal. Semakin kecil nilai permeabilitas struktur perkerasan beraspal, maka semakin awet kekuatan lapisan perkerasan tersebut. Pergerakan air didalam 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 3.8 berikut.

$$k = \frac{V \times h \times \gamma \text{ air}}{P \times A \times T} \quad (3.8)$$

dengan :

k = koefisien permeabilitas (cm/detik),

h = tinggi sampel (cm),

γ air = berat jenis air (kg/cm^3),

P = tekanan air pengujian (kg/cm^2),

A = luas penampang benda uji (cm^2),

T = lama waktu perembesan (detik),

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

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 Yusuf (2017)

3.10 Pengujian *Cantabro*

Pengujian *Cantabro* adalah salah satu pengujian untuk mengetahui besarnya batas kekuatan hancur/keausan akibat pengaruh *impact* (tumbukan/pembebanan) beban roda lalu lintas pada lapis perkerasan secara berulang-ulang akan menyebabkan lapis perkerasan menjadi aus, hal ini akan menyebabkan lapis perkerasan mengalami penurunan sifat daya tahan mesin tes abrasi *Los Angeless* tanpa menggunakan bola baja. Prinsip dasar dari *Cantabro test* adalah membandingkan besarnya berat pada campuran beraspal yang telah dilakukan pengujian dengan berat semula. Menurut Suparma dan Latif (2001) dalam Mashuri, dkk (2014) besarnya kehilangan berat pada *Cantabro test* dapat dihitung dengan Persamaan 3.9 sebagai berikut.

$$CALi = \frac{(mi_1 - mi_2)}{mi_1} \times 100 \quad (3.9)$$

dengan :

$CALi$ = *Cantabro Abrasion Loss (%)*,

Mi_1 = berat mula-mula benda uji (*specimen*) (gr), dan

Mi_2 = berat benda uji (*specimen*) setelah pengujian (gr).