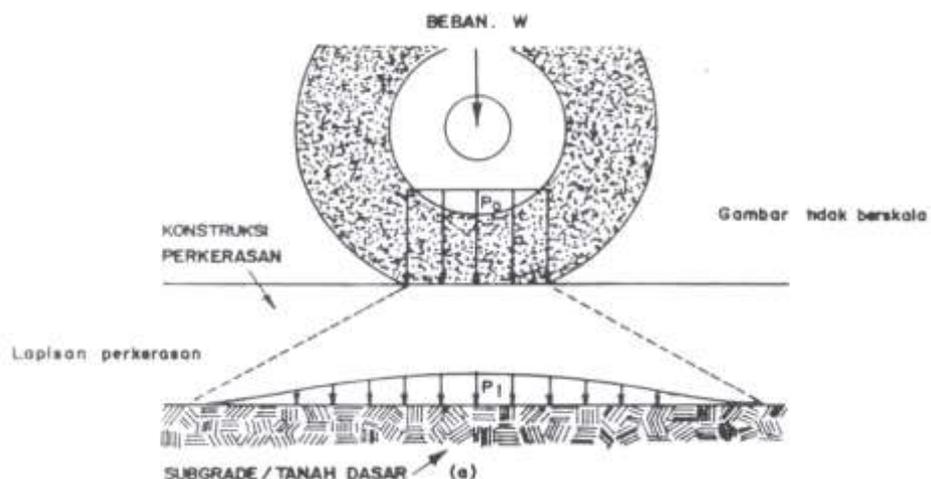


## BAB III LANDASAN TEORI

### 3.1 Perkerasan Lentur Jalan

Menurut Sukirman (2003), perkerasan jalan merupakan lapisan perkerasan yang terletak diantara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan yang berfungsi memberikan pelayanan kepada sarana transportasi, dan selama masa pelayanannya diharapkan tidak terjadi kerusakan yang berarti. Konstruksi perkerasan lentur terdiri dari lapisan-lapisan yang diletakkan di atas tanah dasar yang telah dipadatkan. Lapisan-lapisan tersebut berfungsi untuk menahan dan menyebarkan beban roda. Lapisan paling atas disebut lapis permukaan yang merupakan lapisan paling baik mutunya. Lapis struktur di bawah lapis permukaan berturut-turut adalah lapis pondasi atas dan lapis pondasi bawah. Perkerasan lentur menggunakan aspal sebagai bahan ikatnya.



**Gambar 3.1 Penyebaran Beban Roda Melalui Lapisan Perkerasan**

(Sumber: Sukirman, 1992)

## 3.2 Material Penyusun Perkerasan Lentur

Beton aspal adalah jenis perkerasan jalan yang terdiri dari campuran agregat dan aspal, dengan atau tanpa bahan tambahan yang mempunyai gradasi menerus, dicampur, dihampar, dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu. Karena dicampur dalam keadaan panas maka sering disebut sebagai beton aspal campuran panas atau *hot mix* (Sukirman, 2003).

### 3.2.1 Agregat

Agregat adalah sekumpulan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral bahan lainnya baik berupa hasil alam atau hasil pemecahan. *ASTM* mendefinisikan agregat sebagai suatu bahan yang terdiri dari mineral padat, berupa masa berukuran besar ataupun fragmen-fragmen (Djanasudirja dalam Sukirman, 2003). Agregat sebagai komponen utama penyusun perkerasan jalan berfungsi sebagai kerangka yang memberikan stabilitas campuran. Pemilihan agregat yang sesuai untuk konstruksi perkerasan dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu gradasi, kekuatan, bentuk butir, tekstur permukaan, kelekatan terhadap aspal, porositas, dan tingkat kebersihannya. Spesifikasi umum Bina Marga 2010 membedakan agregat menjadi tiga golongan seperti berikut ini.

1. Agregat kasar, adalah agregat yang tertahan ayakan No.4 (4,75 mm).
2. Agregat halus, adalah agregat yang lolos ayakan No.4 (4.75 mm).
3. Bahan pengisi (*filler*), adalah bagian dari agregat halus yang minimum 75% lolos ayakan No. 200 (0,075 mm).

Ketentuan agregat halus dan agregat kasar untuk campuran beraspal panas ditunjukkan pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 di bawah ini. Ketentuan penyerapan air agregat maksimum 3%.

**Tabel 3.1 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 C117:2002	Maks. 10%

Sumber: Dirjen Bina Marga 2010

**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 Angeless	Campuran AC Modifikasi	100 putaran	Maks. 6%
		500 putaran	Maks. 30%
	Semua jenis campuran aspal bergradasi lainnya	100 putaran	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 <sup>*)</sup>
Partikel Pipih dan Lonjong		ASTM D4791 Perbandingan 1 : 5	Maks. 10%
Material lolos Ayakan No. 200		SNI 03-4142-1996	Maks. 2%
<u>Catatan :</u>			
*) 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: Dirjen Bina Marga 2010

Kualitas perkerasan jalan ditentukan dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain. Oleh karena itu perlu pemeriksaan yang teliti sebelum diputuskan suatu agregat dapat dipergunakan sebagai material perkerasan jalan. Gradasi agregat merupakan sifat yang sangat besar pengaruhnya terhadap kualitas perkerasan secara keseluruhan.

Gradasi adalah susunan butir agregat sesuai ukurannya. Ukuran butir agregat dapat diperoleh melalui pemeriksaan analisis saringan. Satu set saringan umumnya terdiri dari saringan 4 inci,  $3\frac{1}{2}$  inci, 3 inci,  $2\frac{1}{2}$  inci, 2 inci,  $1\frac{1}{2}$  inci, 1 inci,  $\frac{3}{4}$  inci,  $\frac{1}{2}$  inci,  $\frac{3}{8}$  inci, No.4, No.8, No.16, No.30, No.50, No.100, dan No.200. Ukuran saringan dalam ukuran panjang menunjukkan ukuran bukaan, sedangkan nomor saringan menunjukkan banyaknya bukaan dalam 1 inci panjang (Sukirman, 2003).

### 3.2.2 Aspal

Aspal didefinisikan sebagai material berwarna hitam atau coklat tua, pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat. Jika dipanaskan sampai suatu temperatur tertentu aspal dapat menjadi lunak/cair sehingga dapat membungkus partikel agregat pada waktu pembuatan aspal beton. Jika temperatur mulai turun, aspal akan mengeras dan mengikat agregat pada tempatnya, maka aspal disebut bersifat termoplastis. Kadar aspal yang digunakan dalam campuran beton aspal berkisar antara 4% - 10% terhadap berat campuran, atau 10% - 15% berdasarkan volume campuran (Sukirman, 2003).

Sukirman (2003), menyatakan bahwa fungsi aspal dalam campuran perkerasan jalan adalah sebagai berikut.

1. Bahan pengikat, mengikat antara aspal dan agregat serta aspal sendiri.
2. Bahan pengisi, mengisi rongga antar butir dan pori yang ada pada agregat.

Berdasarkan tempat diperolehnya, aspal dibedakan menjadi aspal alam dan aspal minyak. Aspal alam yaitu aspal yang diperoleh dari suatu tempat di alam, dan dapat digunakan dengan sedikit pengolahan. Aspal alam diperoleh dari gunung-gunung, seperti Aspal Batu Buton (Asbuton) dari Pulau Buton, dan ada pula yang diperoleh di danau seperti di Trinidad (*Trinidad Lake Asphalt*). Aspal minyak adalah aspal yang merupakan residu pengilangan minyak bumi.

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 3.3.

**Tabel 3.3 Ketentuan Aspal Pertamina Pen 60/70**

Jenis Pengujian	Metoda Pengujian	Aspal Pen. 60/70
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: Dirjen Bina Marga 2010

### 3.2.3 Serat Selulosa

Kandungan aspal yang tinggi memerlukan suatu stabilisasi dengan bahan tambah. Menurut Mashuri, dkk (2011), serat selulosa merupakan bahan stabilisasi aspal yang bekerja secara fisik dan mekanik. Stabilitas secara fisik berarti dapat menaikkan titik lembek aspal, viskositas dan menurunkan penetrasinya. Stabilitas secara mekanik yaitu meningkatkan antara aspal dengan agregat sebagai efek penulangan tiga dimensi oleh serat selulosa. Selain itu serat selulosa juga berfungsi untuk menstabilkan binder, menjamin binder lapis tipis yang permanen, mencegah difusi air, melindungi aspal dari proses penuaan, dan mencegah deformasi dan retak permukaan jalan pada suhu tinggi. Bahan tambah yang sering digunakan pada campuran *stone matrix asphalt* merupakan bahan tambah yang berasal dari serat selulosa sintetis seperti *Roadcel-50*, dimana harga serat selulosa sintetis tersebut relatif mahal dan sudah tidak diproduksi lagi saat ini. Oleh karena itu digunakan dedak padi sebagai bahan tambah karena dedak padi mempunyai kandungan selulosa alami, sehingga dapat menggantikan fungsi dari selulosa sintetis yang sering digunakan. Serat selulosa yang ditambahkan dalam campuran adalah sebesar 0.3% dari total berat campuran (TRB, 2011).

### 3.2.4 Filler

*Filler* merupakan sekumpulan mineral agregat yang umumnya lolos saringan No. 200. Pada praktiknya *filler* berfungsi untuk meningkatkan viskositas dari aspal dan mengurangi kepekaan terhadap temperatur. Menurut Hatherly (1967) dalam Lubis dan Zuliyanto (2009) menyebutkan bahwa meningkatkan komposisi *filler* dalam campuran dapat meningkatkan stabilitas campuran tetapi menurunkan kadar

*air void* (rongga udara) dalam campuran. Meskipun demikian komposisi *filler* dalam campuran tetap dibatasi, karena terlalu tinggi kadar *filler* dalam campuran akan mengakibatkan campuran menjadi getas dan akan retak ketika menerima beban lalu lintas. Apabila terlalu rendah kadar *filler* akan mengakibatkan campuran menjadi terlalu lunak pada saat cuaca panas.

Abu sekam padi adalah sejenis abu terbang yang merupakan sisa pembakaran batu bata atau tembikar. Abu sekam padi dapat dikelompokkan menjadi bahan *pozzolan*, yaitu bahan yang mengandung silika dan alumina dalam jumlah banyak. Secara visual abu sekam padi adalah material berwarna abu-abu dengan bentuk butiran yang halus, padat dan bulat. Abu sekam padi selain murah (ekonomis), memiliki kandungan  $\text{SiO}_2$  yang cukup tinggi dan mudah didapat. Menurut Ismadarni, dkk (2013), abu sekam padi dapat digunakan untuk mengisi rongga-rongga yang ada dalam butiran-butiran agregat pengisi campuran suatu struktur jalan yaitu *sub base*. Abu sekam padi juga memiliki sifat sementasi yang berfungsi meningkatkan kekesatan antar butiran partikel. Oleh karena itu, abu sekam padi dapat digunakan sebagai bahan pengisi alternatif untuk memenuhi kebutuhan bahan perkerasan. Menurut Tahami (2018), setelah dilakukan analisis *SEM* dapat diketahui bahwa partikel abu sekam padi mengandung tekstur permukaan yang kasar dan sangat berpori. Sedangkan partikel debu batu mengandung tingkat porositas yang sangat sedikit dengan tekstur halus hingga agak kasar. Gambar hasil *SEM* abu sekam padi dan debu batu dapat dilihat pada Gambar 3.2 dan Gambar 3.3 di bawah ini.



**Gambar 3.2 SEM filler (a) Abu Sekam Padi, (b) Debu Batu**

(Sumber: Tahami, 2018)

### 3.3 Karakteristik Campuran Aspal

Menurut Sukirman (2003), campuran agregat dan aspal yang direncanakan harus dapat memenuhi karakteristik tertentu agar dapat bertahan pada kondisi beban lalu lintas dan iklim sehingga dapat menghasilkan suatu perkerasan yang kuat, aman dan nyaman. Karakteristik yang harus dimiliki oleh campuran beton aspal adalah stabilitas, keawetan (*durability*), kelenturan (*flexibility*), ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue resistance*), kekesatan (*skid resistance*), kedap air (*impermeability*), dan kemudahan pelaksanaan (*workability*).

Dari karakteristik campuran beton aspal diatas sulit untuk dapat dipenuhi sekaligus oleh satu jenis campuran. Ketika merancang tebal perkerasan jalan perlu diperhatikan sifat-sifat beton aspal mana yang dominan lebih diinginkan , karena akan menentukan jenis beton aspal yang dipilih. Jalan yang melayani lalu lintas ringan seperti mobil penumpang, sebaiknya lebih memilih jenis beton aspal yang memiliki durabilitas dan fleksibilitas yang tinggi, daripada jenis beton aspal yang memiliki stabilitas tinggi.

### 3.4 Stone Matrix Asphalt

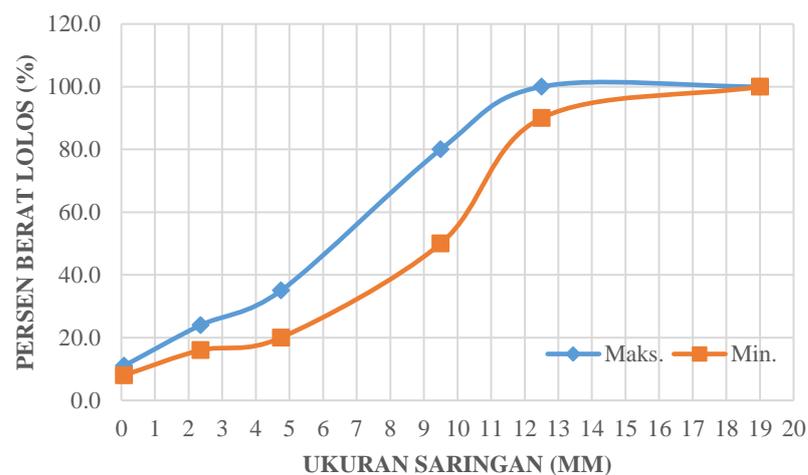
Menurut Rahman, dkk (2015), SMA (*Stone Matrix Asphalt*) merupakan campuran bergradasi senjang yang mempunyai keunggulan dalam menahan retak, alur, serta fleksibilitas dan durabilitas yang lebih tinggi pada perkerasan jalan. Kekuatan campuran SMA muncul dari kandungan agregat kasarnya yang cukup tinggi yaitu lebih dari 70% sehingga memiliki banyak kontak antar butiran batu dengan batu dibanding jenis campuran lain, sedangkan kerangka (*skeleton*) untuk menahan deformasi permanen. Peningkatan durabilitas yang dimiliki SMA muncul dari kandungan aspal yang lebih banyak berkisar antara 6 – 7,5% dari total campuran dan lapisan aspal yang tebal. Tingginya kadar aspal ini juga meningkatkan fleksibilitas yang memberikan ketahanan terhadap retak lelah (*fatigue*). Menurut Blazejowski (2011) dalam Suaryana (2014), untuk menjaga kadar aspal tidak berkurang akibat pengaliran aspal (*draindown*) selama proses pengangkutan maka jika diperlukan ditambahkan bahan penstabil. Untuk mencegah *draindown* aspal tidak melewati batas persyaratan (maks. 0,3 %) maka digunakan

*binder absorbers* yaitu dengan serat selulosa atau dengan *viscosity boosters* yaitu dengan asbuton. Spesifikasi gradasi dan campuran SMA menurut AASHTO M 325-08 dapat dilihat pada Tabel 3.4 dan Tabel 3.5.

**Tabel 3.4 Spesifikasi Gradasi Stone Matrix Asphalt 12,5 mm**

Ukuran Saringan	Spesifikasi Gradasi (%)	
	Min.	Maks.
¾"	100	100
½"	90	100
3/8"	50	80
No. 4	20	35
No. 8	16	24
No. 200	8	11

Sumber: AASHTO dalam TRB (2011)



**Gambar 3.3 Gradasi Stone Matrix Asphalt 12,5 mm**

**Tabel 3.5 Persyaratan Campuran Stone Matrix Asphalt**

Karakteristik Campuran	Spesifikasi Campuran
Kadar Aspal (%)	Min. 6,0
VITM (%)	4,0
VMA (%)	17,0
VCA <sub>mix</sub> (%)	<VCA <sub>drc</sub>
Draindown aspal (%)	Maks. 0,3
TSR (%)	Min. 0,80

Sumber: AASHTO dalam Suaryana, dkk (2014)

### 3.5 Air Laut

Menurut Muaya, dkk (2015), air laut adalah kumpulan air asin yang sangat banyak dan luas di permukaan bumi yang memisahkan dan menghubungkan satu benua dengan benua lainnya dan satu pulau dengan pulau lainnya.

Laut merupakan wilayah yang paling luas di permukaan bumi, dengan luas mencapai 70% dari seluruh permukaan dunia, dan memiliki sifat korositas yang sangat agresif. Menurut Muaya, dkk (2015) secara umum derajat keasaman air laut berkisar antara 8,2 sampai dengan 8,4 dimana mengandung air sebanyak 96,5%, sedangkan material terlarut dalam bentuk molekul dan ion sebanyak 3,5%. Material yang terlarut tersebut 89% terdiri dari garam chlor sedangkan sisanya 11% terdiri dari unsur-unsur lainnya.

Garam-garaman utama yang terdapat dalam air laut adalah klorida (55%), natrium (31%), sulfat (8%), magnesium (4%), kalsium (1%), dan sisanya (kurang dari 1%) terdiri dari bikarbonat, bromide, asam borak, strontium, dan florida. Tiga 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 sangat agresif dan sangat merusak adalah sebagai berikut:

1. air laut merupakan elektrolit yang memiliki sifat konduktivitas tinggi,
2. mempunyai kandungan oksigen terlarut yang tinggi,
3. temperatur permukaan air laut umumnya tinggi, dan
4. ion klorida yang terkandung pada air laut merupakan ion agresif.

### 3.6 Karakteristik Pengujian *Marshall*

Alat *Marshall* adalah alat tekan yang dilengkapi dengan *proving ring* (cincin penguji) berkapasitas 22,2 kN atau 5000 lbf dan *flowmeter* untuk mengukur kelelahan plastis atau *flow*. Benda uji *Marshall* berbentuk silinder berdiameter 4 inci atau 10,2 cm dan tinggi 2,5 inci atau 6,35 cm (Sukirman, 2003). Kinerja suatu campuran beton aspal dapat ditentukan melalui parameter-parameter pengujian *Marshall* yang meliputi enam pengujian.

### 3.6.1 Pengujian Nilai Stabilitas dan Kelelahan (*Flow*)

Pengujian stabilitas diperlukan untuk mengukur ketahanan benda uji terhadap beban. Sedangkan *flowmeter* 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 dahulu 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 51mm/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 *flowmeternya*. Nilai stabilitas merupakan nilai arloji pengukur dikalikan dengan nilai kalibrasi *proving ring*, dan dikoreksi dengan angka koreksi akibat variasi ketinggian benda uji (Sukirman, 2003). 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 x kalibrasi *proving ring*,

q = Angka koreksi benda uji.

### 3.6.2 Perhitungan Jenis Volume Pori

Menurut Sukirman (2003), sifat volumetrik beton aspal padat dapat diketahui dengan menggunakan beberapa parameter. Diantaranya adalah volume *bulk* ( $V_{mb}$ ), *VMA*, *VITM*, dan *VFWA*.

#### 1. Berat jenis *bulk* beton aspal padat ( $G_{mb}$ )

Berat jenis *bulk* beton aspal padat dapat diukur dengan mempergunakan hukum Archimedes yang dapat dilihat pada Persamaan 3.2.

$$G_{mb} = \frac{Bk}{B_{ssd} - Ba} \quad (3.2)$$

dengan:

$G_{mb}$  = Berat jenis *bulk* dari beton aspal padat,

$B_k$  = Berat kering beton aspal padat (gram),

$B_{ssd}$  = Berat kering permukaan dari beton aspal yang telah dipadatkan (gram),

$B_a$  = Berat beton aspal padat di dalam air (gram),

$B_{ssd} - B_a$  = Volume *bulk* dari beton aspal padat, jika berat jenis air diasumsikan sama dengan 1.

## 2. Berat jenis maksimum beton aspal yang belum dipadatkan ( $G_{mm}$ )

Berat jenis maksimum beton aspal yang belum dipadatkan adalah berat jenis campuran beton aspal tanpa pori/udara, yang didapatkan dari penelitian laboratorium. Rumus untuk menghitung berat jenis maksimum beton aspal yang belum dipadatkan dapat dilihat pada Persamaan 3.3.

$$G_{mm} = \frac{100}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_a}{G_a}} \quad (3.3)$$

dengan:

$G_{mm}$  = Berat jenis maksimum dari campuran beton aspal yang belum dipadatkan,

$P_a$  = Kadar aspal terhadap berat beton aspal padat (%),

$P_s$  = Kadar agregat terhadap beton aspal padat (%),

$G_a$  = Berat jenis aspal,

$G_{se}$  = Berat jenis efektif dari agregat pembentuk beton aspal padat.

## 3. *Void in Mineral Aggregate (VMA)*

*VMA* adalah banyaknya rongga di antara butir-butir agregat di dalam beton aspal yang dipadatkan dan dinyatakan dalam presentase. *VMA* akan meningkat apabila film aspal lebih tebal, atau agregat yang digunakan bergradasi senjang.

Jika komposisi campuran ditentukan sebagai presentase dari berat beton aspal padat, *VMA* dapat dihitung dengan menggunakan rumus yang dapat dilihat pada Persamaan 3.4.

Dasar perhitungan dilakukan berdasarkan volume beton aspal padat = 100 cm<sup>3</sup>.

$$VMA = \left(100 - \frac{G_{mb} \cdot P_s}{G_{sb}}\right) \quad (3.4)$$

dengan:

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

$G_{mb}$  = Berat jenis *bulk* dari beton aspal padat,

$P_s$  = Kadar agregat terhadap berat beton aspal padat (%),

$G_{sb}$  = Berat jenis *bulk* dari agregat pembentuk beton aspal padat.

#### 4. *Void in Total Mix (VITM)*

*VITM* adalah volume rongga yang tersisa setelah campuran beton aspal dipadatkan dan dinyatakan dalam presentase. *VITM* 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. *VITM* yang terlalu besar akan mengakibatkan beton aspal padat kurang kedap terhadap rembesan air, sehingga berakibat meningkatnya proses oksidasi aspal yang dapat mempercepat penuaan aspal dan menurunkan sifat durabilitas beton aspal. *VITM* yang terlalu kecil akan mengakibatkan perkerasan mudah mengalami *bleeding* ketika temperatur meningkat. *VITM* dinyatakan dalam presentase terhadap volume beton aspal padat. Rumus untuk menghitung *VITM* dapat dilihat pada Persamaan 3.5.

Dasar perhitungan dilakukan berdasarkan volume beton aspal padat = 100 cm<sup>3</sup>.

$$VITM = \left(100 \times \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}}\right) \quad (3.5)$$

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,

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

#### 5. *Volume of Void Filled with Asphalt (VFWA)*

*VFWA* adalah volume pori beton aspal padat yang terisi oleh aspal, atau volume selimut aspal. Aspal yang mengisi *VFWA* adalah aspal yang berfungsi untuk

menyelimuti butir-butir agregat di dalam beton aspal padat. Rumus untuk menghitung  $VFWA$  dapat dilihat pada Persamaan 3.6.

Dasar perhitungan dilakukan berdasarkan volume beton aspal padat =  $100 \text{ cm}^3$ .

$$VFWA = \frac{100 (VMA - VIM)}{VMA} \quad (3.6)$$

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,

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

Untuk mendapatkan hasil yang terbaik, maka campuran *Stone Matrix Asphalt* 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*).

Metode untuk menentukan terjadinya kontak antar batuan adalah metode *VCA (Voids in Coarse Aggregate)* yang dapat dihitung dengan Persamaan 3.7 dan Persamaan 3.8. Spesifikasi *AASHTO* mensyaratkan bahwa nilai  $VCA_{mix}$  harus lebih kecil dari nilai  $VCA_{drc}$ .

$$VCA_{drc} = \frac{G_{ca} \gamma_w - \gamma_s}{G_{ca} \gamma_w} \times 100 \quad (3.7)$$

dengan:

$VCA_{drc}$  = Volume pori antara agregat kasar pada kondisi *dry-rodded*,

$G_{ca}$  = Berat jenis *bulk* agregat kasar,

$\gamma_w$  = Berat jenis air ( $998 \text{ kg/m}^3$ ),

$\gamma_s$  = Berat volume agregat kasar pada kondisi *dry-rodded* ( $\text{kg/cm}^3$ ).

$$VCA_{mix} = 100 - \left( \frac{G_{mb} P_{ca}}{G_{ca}} \right) \quad (3.8)$$

dengan:

$VCA_{mix}$  = Volume pori antara agregat kasar pada campuran SMA yang dipadatkan,

$G_{mb}$  = Berat jenis *bulk* campuran SMA yang dipadatkan,

$P_{ca}$  = Persen agregat kasar (tertahan saringan No. 4)

### 3.6.3 Perhitungan *Marshall Quotient (MQ)*

*Marshall Quotient* adalah perbandingan antara stabilitas dengan kelelahan plastis. Campuran dengan stabilitas tinggi dan kelelahan plastis yang rendah akan menghasilkan nilai *MQ* yang tinggi. Menurut Muaya, dkk (2015), 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 3.9.

$$MQ = \frac{q}{r} \quad (3.9)$$

dengan:

$MQ$  = Nilai *Marshall Quotient* (kg/mm),

$q$  = Nilai stabilitas (kg),

$r$  = Nilai kelelahan plastis/*flow* (mm).

### 3.7 Pengujian Perendaman (*Immersion Test*)

*Immersion test* adalah suatu metode pengujian yang bertujuan untuk mengetahui daya tahan campuran aspal terhadap temperatur, cuaca dan air, yang dapat menggambarkan durabilitas campuran (Fauziah dan Handaka, 2017). Stabilitas benda uji ditentukan setelah satu hari perendaman di dalam air pada suhu 60°C. Spesifikasi Bina Marga 2010 mensyaratkan *IRS* minimal 90%. Nilai indeks stabilitas sisa (*IRS*) dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.10.

$$IRS = \frac{MSi}{MSs} \times 100 \% \quad (3.10)$$

dengan:

$IRS$  = Indeks Stabilitas Sisa (%),

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

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

### 3.8 *Indirect Tensile Strength (ITS) Test*

*Tensile Strength Test* adalah suatu metode untuk mengetahui nilai gaya tarik dari campuran aspal. Sifat uji ini adalah kegagalan gaya tarik yang berguna untuk memperkirakan potensial retakan. Retak yang disebabkan oleh pengulangan beban menyebabkan adanya gaya tarik yang dialami campuran aspal. Metode yang paling sesuai untuk mengetahui besarnya gaya tarik dari campuran aspal adalah dengan metode *Indirect Tensile Strength Test* di laboratorium (Sunarjono, 2012).

Beban roda kendaraan yang berhenti atau bergerak diatas struktur perkerasan menimbulkan gaya tekan ke bawah yang menyebabkan lapisan melendut. 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 (<20 cm) retak terjadi dari bawah merambat ke atas (Sunarjono, 2012). Nilai kuat tarik tidak langsung dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.11.

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

dengan:

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

$P_{runtuh}$  = beban puncak (kg),

$h$  = tinggi benda uji (cm),

$A_o$  = konstanta.

### 3.9 Pengujian Permeabilitas

Menurut Pramudya, dkk (2013), permeabilitas merupakan salah satu sifat perkerasan yang harus diperhatikan, mengingat banyaknya kerusakan perkerasan

yang salah satu sebabnya dikarenakan oleh air. Permeabilitas mempengaruhi durabilitas dan stabilitas campuran aspal. Pengujian permeabilitas bertujuan untuk mengetahui kemampuan lapis perkerasan mengalirkan zat alir (air maupun udara), Semakin kedap lapis perkerasan berarti semakin baik karena air tidak dapat masuk ke dalam rongga pada lapis perkerasan.

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),

$\gamma$  air = berat jenis air (kg/cm<sup>3</sup>),

P = tekanan air pengujian (kg/cm<sup>2</sup>),

A = luas penampang benda uji (cm<sup>2</sup>),

T = lama waktu perembesan (detik).

Berdasarkan koefisien permeabilitas, campuran aspal dapat diklasifikasikan ke dalam batas permeabilitasnya seperti pada Tabel 3.6.

**Tabel 3.6 Klasifikasi Campuran Aspal Berdasarkan Angka Permeabilitas**

<b>k (cm/detik)</b>	<b>Permeabilitas</b>
1 x 10 <sup>-8</sup>	<i>Impervious</i>
1 x 10 <sup>-6</sup>	<i>Practically impervious</i>
1 x 10 <sup>-4</sup>	<i>Poor drainage</i>
100 x 10 <sup>-4</sup>	<i>Fair drainage</i>
1000 x 10 <sup>-4</sup>	<i>Good Drainage</i>

Sumber : Suparma (1997) dalam Susanto, dkk (2014)

### 3.10 Pengujian *Cantabro*

Menurut Mashuri, dkk (2014), *Cantabro test* adalah salah satu pengujian di laboratorium untuk mengetahui besarnya batas kekuatan hancur/keausan akibat pengaruh *impact* (tumbukan / pembebanan) beban roda lalu lintas pada lapis

perkerasan. Repetisi beban lalu lintas pada lapis permukaan perkerasan akan menyebabkan lapis perkerasan menjadi aus, hal ini akan menyebabkan penurunan sifat daya tahan. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan mesin abrasi *Los Angeles* (tanpa menggunakan bola-bola baja) sebanyak 300 kali putaran. Presentase kehilangan berat yang dapat diterima tidak lebih dari 20% menurut spesifikasi Bina Marga 2010.

Prinsip dasar dari *Cantabro test* adalah membandingkan besarnya berat pada campuran beraspal yang telah dilakukan pengujian dengan berat semula. Besarnya kehilangan berat pada *Cantabro test* dapat dihitung dengan Persamaan 3.13 berikut.

$$CAL_i = \frac{(m_{i1} - m_{i2})}{m_{i1}} \times 100 \quad (3.13)$$

dengan:

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

$m_{i1}$  = berat mula-mula benda uji (gr),

$m_{i2}$  = berat benda uji setelah pengujian (gr).