

BAB III LANDASAN TEORI

3.1 Perkerasan Lentur Jalan

Perkerasan jalan merupakan lapis perkerasan yang terletak diantara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan. Perkerasan jalan berfungsi memberikan layanan transportasi, dan selama masa pelayanannya diharapkan tidak terjadi kerusakan yang berarti. 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. Perkerasan jalan dibuat berlapis-lapis supaya mempunyai daya dukung dan keawetan yang cukup baik dan ekonomis. Lapisan paling atas disebut juga lapisan permukaan yaitu lapisan yang paling baik mutunya, kemudian lapis pondasi yang terletak di atas lapisan tanah dasar yang telah dipadatkan. Fungsi dari lapisan-lapisan tersebut adalah untuk menerima dan menyebarkan beban lalu lintas ke lapisan di bawahnya. (Sukirman, 2003).

3.2 Karakteristik Beton Aspal

Beton aspal adalah jenis perkerasan jalan yang terdiri dari campuran agregat dan aspal, dengan atau tanpa bahan tambahan. Suhu pencampuran ditentukan berdasarkan jenis aspal yang digunakan. Jika digunakan semen aspal, maka suhu pencampurannya antara 145°-155° C, sehingga disebut beton aspal campuran panas (Sukirman, 2003). Berikut ini adalah karakteristik campuran yang harus dimiliki beton aspal.

3.2.1 Kelenturan (*Flexibility*)

Kelenturan adalah kemampuan beton aspal tanpa terjadi keretakan akibat penurunan serta pergerakan dari pondasi atau tanah dasar. Penurunan terjadi akibat repetisi beban lalu lintas atau berat sendiri tanah timbunan yang dibuat di atas tanah asli.

3.2.2 Stabilitas (*Stability*)

Stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan tanpa mengalami perubahan bentuk tetap yang diakibatkan dari beban lalu lintas. Perubahan bentuk tetap tersebut seperti gelombang, alur (*rutting*), dan *bleeding*. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai stabilitas beton aspal adalah gesekan internal antar butiran agregat yang saling mengunci dan adanya aspal serta kohesi atau gaya ikat aspal yang berasal dari daya lekatnya, sehingga mampu memelihara tekanan kontak antar butir agregat.

3.2.3 Keawetan (*Durability*)

Keawetan adalah kemampuan beton aspal menerima tekanan dari beban lalu lintas seperti berat kendaraan dan gesekan antara roda kendaraan dengan permukaan jalan, serta menahan keausan akibat pengaruh cuaca dan iklim (udara, air, dan perubahan temperatur). Durabilitas beton aspal dipengaruhi oleh tebal selimut aspal, banyaknya pori dalam campuran, kepadatan dan kepadatannya dalam campuran.

3.3 Material Penyusun Perkerasan Lentur Jalan

Material yang digunakan dalam perkerasan lentur diantaranya adalah sebagai berikut.

3.3.1 Agregat

Agregat adalah bahan yang dicampurkan dalam proses pembuatan aspal yang berasal dari batu. Agregat mempunyai peranan penting terhadap kualitas aspal maupun harganya. Kadar agregat dalam campuran bahan perkerasan konstruksi jalan pada umumnya berkisar 90 – 95 % dari berat total (Sukirman, 2003).

Berdasarkan ukuran butirnya agregat dapat dibedakan atas agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi (*filler*) sebagai berikut.

1. Agregat kasar, adalah agregat dengan ukuran butir lebih besar dari saringan No. 4 (4,75 mm).

2. Agregat halus, adalah agregat dengan ukuran butir lebih halus dari saringan No. 4 (4,75 mm).
3. Bahan pengisi, adalah bagian dari agregat halus yang minimum 75% lolos saringan No. 200 (0,075 mm).

Pengujian agregat bertujuan untuk meneliti bahan yang akan dipakai dapat memenuhi persyaratan pengujian agregat kasar dan agregat halus. Pengujian laboratorium yang dilakukan untuk agregat kasar dan agregat halus disajikan dalam Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Spesifikasi Pengujian Karakteristik Agregat

| No. | Pengujian | Metode Pengujian | Persyaratan | |
|-------------------------|-----------------------------------|------------------|-------------|------|
| | | | Min | Maks |
| a. Agregat Kasar | | | | |
| 1 | Penyerapan (%) | SNI-03-1969-1990 | - | 3,00 |
| 2 | a. Berat Jenis Bulk (gr/cc) | | 2,50 | - |
| | b. Berat Jenis SSD (gr/cc) | | 2,50 | - |
| | c. Berat Jenis Semu (gr/cc) | | 2,50 | - |
| 3 | Keausan Agregat (%) | SNI-03-2417-1991 | - | 40 |
| 4 | Indeks Kepipihan (%) | SNI-M-25-1991-03 | - | 25 |
| 5 | Indeks Kelonjongan (%) | | - | 25 |
| b. Agregat Halus | | | | |
| 1 | Penyerapan (%) | SNI-03-1970-1990 | - | 3,00 |
| 2 | a. Berat Jenis Bulk (gr/cc) | | 2,50 | - |
| | b. Berat Jenis SSD (gr/cc) | | 2,50 | - |
| | c. Berat Jenis Semu (gr/cc) | | 2,50 | - |
| 3 | <i>Sand Equivalent (S.E), (%)</i> | SNI-03-4428-1997 | 50 | - |

Sumber : Bina Marga 2010

3.3.2 Gradasi Agregat

Gradasi agregat adalah susunan butir agregat yang sesuai dengan ukurannya. Ukuran butir agregat dapat diperoleh melalui pemeriksaan analisis saringan. Satu set saringan umumnya terdiri dari saringan berukuran 4 inci, 3½ inci, 3 inci, 2½

inci, 2 inci, 1½ inci, 1 inci, ¾ inci, ½ inci, 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).

3.3.3 Aspal

Aspal adalah material termoplastik yang akan menjadi keras atau lebih kental jika temperatur berkurang dan akan lunak atau lebih cair jika temperatur bertambah. Sifat ini dinamakan kepekaan terhadap perubahan temperatur, yang dipengaruhi oleh komposisi kimiawi aspal walaupun mungkin mempunyai nilai penetrasi atau viskositas yang sama pada temperatur tertentu. Aspal yang mengandung lilin lebih peka terhadap temperatur dibandingkan dengan aspal yang tidak mengandung lilin. Hal ini terlihat pada aspal yang mempunyai viskositas yang sama pada temperatur tinggi tetapi sangat berbeda viskositas pada temperatur rendah. Kepekaan terhadap temperatur akan menjadi dasar perbedaan umur aspal untuk menjadi retak ataupun mengeras. Bersama dengan agregat, aspal merupakan material pembentuk campuran perkerasan jalan (Sukirman, 2003).

Bahan dasar dari aspal adalah hidrokarbon yang umum disebut sebagai bitumen. Aspal yang umum digunakan saat ini terutama berasal dari salah satu hasil destilasi minyak bumi, dan disamping itu mulai banyak pula digunakan aspal yang berasal dari pulau Buton. Sebagai salah satu material konstruksi perkerasan lentur, aspal merupakan salah satu komponen kecil, umumnya 4%-10% berdasarkan berat atau 10%-15% berdasarkan volume, tetapi merupakan komponen yang relatif mahal (Sukirman, 1992).

Di Indonesia, aspal pen 60/70 adalah yang umum digunakan sebagai bahan ikat perkerasan lentur jalan. Ketentuan untuk aspal padat menurut Spesifikasi Umum Bina Marga dapat dilihat pada Tabel 3.2 dan Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3.2 Spesifikasi Pengujian Karakteristik Aspal

| No. | Pengujian | Metode Pengujian | Satuan | Persyaratan | |
|-----|--|-----------------------|----------|-------------|------|
| | | | | Min | Maks |
| 1 | Penetrasi (25°C, 5 dtk, 100 gr) | SNI. 06 - 2456 – 1991 | 0,1mm | - | 70 |
| 2 | Penetrasi Setelah Kehilangan Berat | SNI. 06 - 2434 – 1991 | % semula | - | - |
| 3 | Titik Nyala | SNI. 06 - 2433 – 1991 | ° C | 225 | - |
| 4 | Titik Lembek | SNI. 06 - 2434 – 1991 | ° C | 48 | 58 |
| 5 | Berat Jenis (25° C) | SNI. 06 - 2441 – 1991 | gr/cc | 1.0 | - |
| 6 | Penurunan Berat | SNI. 06 - 2440 – 1991 | % berat | - | - |
| 7 | Viscositas 170 Cst (Temp. pencampuran) | SNI. 03 - 6721 – 2002 | ° C | - | - |
| 8 | Viscositas 280 Cst (Temp. pematatan) | SNI. 06 - 6721 – 2002 | ° C | - | - |
| 9 | Daktilitas (25°C, 5 cm/menit) | SNI. 06 - 2432 – 1991 | Cm | 50 | - |

Sumber : Bina Marga 2010

Tabel 3.3 Ketentuan-ketentuan Aspal Padat

| Jenis Pengujian | Metode Pengujian | Aspal Penetrasi 60/70 | Aspal Modifikasi Elastomer |
|--------------------------------------|------------------|-----------------------|----------------------------|
| Penetrasi pada 25°C (0,1 mm) | SNI 06-2456-1991 | 60-70 | Min. 40 |
| Titik lembek (°C) | SNI 2343:2011 | ≥ 48 | ≥ 54 |
| Daktilitas pada 25°C (cm) | SNI 2432:2011 | ≥ 100 | ≥ 100 |
| Titik nyala (°C) | SNI 2433:2011 | ≥ 232 | ≥ 232 |
| Kelarutan dalam Trichoroethylene (%) | AASHTO T44-03 | ≥ 99 | ≥ 99 |
| Berat jenis | SNI 2441:2011 | ≥ 1,0 | ≥ 1,0 |

Sumber : Bina Marga 2010

3.3.4 Bahan Aditif

Salah satu alternatif bahan aditif yang dapat digunakan sebagai bahan tambah untuk campuran beton aspal yaitu serat selulosa. Serat selulosa merupakan bahan stabilisasi aspal yang berguna menaikkan titik lembek aspal, viskositas dan menurunkan penetrasinya. Serat selulosa berfungsi untuk mencegah deformasi dan retak permukaan jalan pada suhu tinggi (Mashuri,dkk 2011).

Dedak padi merupakan salah satu alternatif sebagai serat selulosa dengan kandungan serat selulosa antara 8,54 % sampai 15,63%. Dedak padi adalah serat selulosa alami yang biasa dikenal dengan nama *cellulosa rice fiber*, yang saat ini hanya dimanfaatkan sebagai bahan baku industri pakan. Peningkatan kegunaan dedak padi membuat penelitian ini menggunakan dedak padi sebagai salah satu *fiber* alami yang mudah ditemukan serta ekonomis.

Menurut penelitian Tahir (2011), penggunaan selulosa dedak padi sebagai bahan tambah pada campuran *Split Mastik Asphalt (SMA)* umumnya memenuhi spesifikasi. Nilai durabilitas yang didapatkan untuk variasi kadar dedak padi 5% yaitu sebesar 94,88% lebih kecil dibanding tanpa tambahan dedak padi yaitu sebesar 95,17 %, kemudian penambahan kadar dedak padi sebesar 6%, 7% 8% dan 9% diperoleh nilai durabilitas yaitu sebesar 98,18%, 99,76%, 97,05%, dan 95,95% cenderung meningkat dibanding tanpa tambahan dedak padi. Hal ini mengindikasikan adanya ketahanan campuran terhadap pengaruh cuaca dan beban lalu lintas atau nilai keawetan yang cukup baik, sehingga penelitian ini menggunakan dedak padi sebagai serat selulosa.

3.3.5 Bahan Pengisi (*filler*)

Bahan pengisi (*filler*) adalah mineral agregat yang umumnya lolos saringan no.200. *Filler* atau bahan pengisi ini akan mengisi rongga antara partikel agregat kasar dalam rangka mengurangi besarnya rongga, meningkatkan kerapatan dan stabilitas dari massa tersebut. Rongga udara pada agregat kasar diisi dengan partikel yang lolos saringan 200, sehingga membuat rongga udara lebih kecil dan kerapatan massanya lebih besar (Sukirman, 2003).

Sekam padi merupakan bahan berligno-selulosa seperti biomassa lainnya namun mengandung silika yang tinggi. Kandungan kimia sekam padi terdiri atas 50% selulosa, 25–30% lignin, dan 15–20% silika (Ismail and Waliuddin, 1996). Pembakaran sekam padi dengan menggunakan metode konvensional seperti *fluidised bed combustors* menghasilkan emisi CO antara 200 –2000 mg/Nm³ dan emisi NO_x antara 200 – 300mg/Nm³ (Armestoetal, 2002).

Metode pembakaran sekam padi yang dikembangkan oleh COGEN-AIT mampu mengurangi potensi emisi CO₂ sebesar 14.762 ton, CH₄ sebesar 74 ton, dan NO₂ sebesar 0,16 ton pertahun dari pembakaran sekam padi sebesar 34.919 ton pertahun.

Pada proses pembakaran akan menghasilkan perubahan struktur silika yang berpengaruh pada dua hal yaitu tingkat aktivitas pozolan dan kehalusan butiran abu. Pada tahap awal pembakaran, abu sekam padi menjadi kehilangan berat pada suhu 100 °C, pada saat itulah hilangnya sejumlah zat dari sekam padi tersebut. Pada suhu 300°C, zat-zat yang mudah menguap mulai terbakar dan memperbesar kehilangan berat. Kehilangan berat terbesar terjadi pada suhu antara 400 °C-500 °C, pada tahap ini pula terbentuk oksida karbon. Di atas suhu 600 °C ditemukan beberapa formasi kristal quartz. Jika temperatur ditambah, maka sekam berubah menjadi kristal *silica* (Wijanarko, W., 2008).

3.4 Campuran Stone Matrix Asphalt (SMA)

Stone Matrix Asphalt merupakan jenis campuran beraspal panas yang dapat digunakan sebagai lapis permukaan jalan. *Stone Matrix Asphalt (SMA)* tersusun atas *Split* (agregat kasar dengan kadar tinggi), *Matrix Asphalt* (campuran agregat halus, *filler* dan aspal dengan kadar relatif tinggi) ditambah dengan zat aditif untuk stabilisasi campuran.

Menurut NCAT (2009), campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)* adalah beton aspal bergradasi senjang yang memiliki kandungan agregat kasar tinggi yaitu lebih dari 70% dan dapat membentuk rangka (*skeleton*) yang kuat. Campuran SMA memiliki ketahanan yang baik terhadap kerusakan alur (*rutting*) karena memiliki rangka agregat kasar yang kuat. Rongga antar partikel agregat diisi oleh

mastik yang terdiri dari aspal, agregat halus dan *filler*. Kadar aspal yang tinggi, yang berkisar antara 6-7,5% dari total campuran, dapat meningkatkan durabilitas campurannya.

Campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)* memiliki kelebihan ketahanan yang tinggi terhadap deformasi sebagai akibat dari kandungan agregat kasar yang besar dan membentuk rangka agregat yang kuat. Sedangkan kekurangan *Stone Matrix Asphalt (SMA)* adalah biaya relatif lebih mahal akibat penggunaan kadar aspal yang tinggi dan penambahan bahan penstabil (Suaryana, 2012).

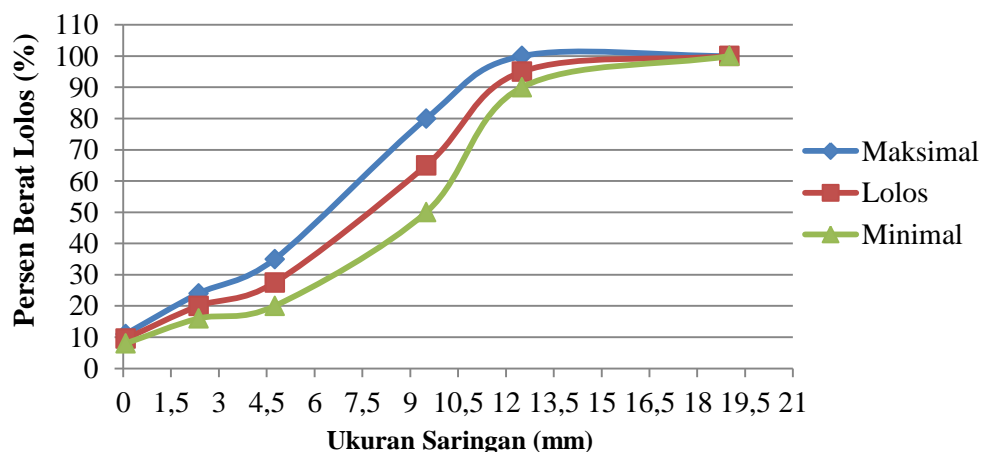
Spesifikasi gradasi dan campuran *SMA* menurut *AASHTO M 325-08* dapat dilihat pada Tabel 3.4 dan Tabel 3.5 sebagai berikut.

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

| Ukuran Saringan | Spesifikasi Gradasi (%) | |
|-----------------|-------------------------|------|
| | Min. | Maks |
| 3/4 ” | 100 | 100 |
| 1/2 ” | 90 | 100 |
| 3/8 ” | 50 | 80 |
| No. 4 | 20 | 35 |
| No. 8 | 16 | 24 |
| No. 200 | 8 | 11 |

Sumber :*AASHTO* dalam *TRB* (2011)

Penentuan persen lolos pada campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)* 12,5 mm sesuai dengan gradasi campuran dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut ini.



Gambar 3.1 Gradasi *Stone Matrix Asphalt 12,5 mm*

Tabel 3.5 Persyaratan Campuran SMA

| Karakteristik Campuran | Spesifikasi Campuran |
|------------------------------|----------------------------|
| Kadar aspal (%) | Min. 6,0 |
| <i>VIM</i> (%) | 4,0 |
| <i>VMA</i> (%) | 17,0 |
| <i>VCA_{mix}</i> (%) | < <i>VCA_{drc}</i> |
| <i>Draindown</i> aspal (%) | Maks. 0,3 |
| <i>TSR</i> (%) | Min. 0,80 |

Sumber : AASHTO dalam *TRB* (2011)

3.5 Karakteristik Pengujian *Marshall*

Salah satu metode yang bertujuan untuk menghasilkan *design* yang baik adalah *Marshall Test*. Metode ini dikembangkan oleh Bruce *Marshall* dari Misisipi *State Highway Department* sekitar tahun 1940-an dibuat standard dalam ASTM D 1559-89 yang membuat beberapa benda uji dengan kadar aspal berbeda kemudian di test kadar udara (*porosity*), *stability* dan *flow*. Hasil *test* diplot terhadap kadar bitumen, kemudian kadar optimum bitumen dipilih, proses ini mengukur secara teliti : *porosity*, *stability*, *flow*, sehingga didapatkan sifat aspal yang awet dan tahan terhadap *rutting* (penurunan) serta *fatigue* (retak karena lelah).

Pengujian *Marshall* terdiri dari alat tekan yang dilengkapi dengan *proving ring* (cincin penguji) berkapasitas 22,2 kN atau 5000 lbf serta *flowmeter* untuk mengukur kelelahan plastis atau *flow*. Benda uji *Marshall* berbentuk silinder dengan diameter 4 inci atau 10,2 cm dan tinggi 2,5 inci atau 6,35 cm (Sukirman, 2003).

3.5.1 Perhitungan Jenis Volume Pori

Sifat volumetrik beton aspal padat dapat diketahui dengan menggunakan beberapa parameter (Sukirman, 2003). Diantaranya adalah volume *bulk* (*Vmb*), *VMA*, *VIM*, dan *VFWA* sebagai berikut.

1. Berat jenis *bulk* beton aspal padat (*Gmb*)

Berat jenis *bulk* beton aspal padat adalah berat jenis campuran beton aspal dengan pori/ udara, diukur dengan menggunakan hukum Archimedes pada Persamaan 3.1.

$$G_{mb} = \frac{B_k}{B_{ssd} - B_a} \quad (3.1)$$

dengan:

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

B_k = Berat kering beton aspal padat (gram),

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

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

$B_{ssd} - B_a$ = 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, menggunakan prosedur *AASHTO* T209-90 dengan menggunakan Persamaan 3.2.

$$G_{mm} = \frac{100}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_a}{G_a}} \quad (3.2)$$

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 berat beton aspal padat (%),

G_a = Berat jenis aspal, dan

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

3. *Void in Mineral Aggregate (VMA)*

VMA adalah banyak pori/udara yang berada di antara butir-butir agregat dalam beton aspal padat. Hasil dari *VMA* dinyatakan dalam persentase. *VMA* dapat

meningkat jika selimut aspal lebih tebal, atau agregat yang digunakan bergradasi terbuka. *VMA* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.3.

$$VMA = 100 - \frac{Gmb \cdot Ps}{Gsb} \quad (3.3)$$

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.

4. *Void in Mix (VIM)*

VIM adalah sisa dari volume pori/udara yang terjadi setelah campuran beton aspal dipadatkan. *VIM* berfungsi sebagai 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* terlalu besar akan mengakibatkan beton aspal padat berkurang kekedapan airnya sedangkan *VIM* terlalu kecil akan mengakibatkan perkerasan mengalami *bleeding* jika temperatur meningkat. *VIM* dinyatakan dalam persentase terhadap volume beton aspal padat. Perhitungan dilakukan berdasarkan volume beton aspal padat = 100 cm³. *VIM* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.4.

$$VIM = 100 - \frac{Gmm - Gmb}{Gmm} \quad (3.4)$$

dengan:

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

Gmm = Berat jenis maksimum dari beton aspal yang belum dipadatkan, dan

Gmb = Berat jenis *bulk* dari beton aspal padat.

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

VFWA adalah volume pori/udara beton aspal padat yang terisi oleh aspal. Aspal yang mengisi *VFWA* berfungsi menyelimuti butir-butir agregat di dalam beton aspal padat. *VFWA* adalah persentase volume beton aspal padat yang menjadi selimut aspal. Perhitungan dilakukan berdasarkan volume beton aspal padat = 100 cm³. *VFWA* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.5.

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

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

Metode yang bertujuan untuk menentukan terjadinya kontak antar batuan adalah metode *VCA (Voids in Coarse Aggregate)*. Spesifikasi pada persyaratan yang tercantum dalam *AASHTO* menyatakan bahwa nilai *VCAmix* harus lebih kecil dari nilai *VCA_{drc}*. Kontak antarpartikel agregat dapat dikatakan baik apabila nilai *VCA* memenuhi persyaratan $VCAmix / VCA_{drc} < 1,0$ (Suaryana, 2012). *VCA* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.6 dan Persamaan 3.7.

$$VCA_{drc} = \frac{G_{ca} \gamma_w - \gamma_s}{G_{ca} \gamma_w} \times 100 \quad (3.6)$$

dengan:

- VCA_{drc}* = Volume pori antara agregat kasar pada kondisi *dry-rodded*,
- G_{ca}* = Berat jenis bulk agregat kasar,
- γ_w = Berat jenis air (998 kg/m³), dan
- γ_s = Berat volume agregat kasar pada kondisi *dry-rodded* (kg/m³).

$$VCA_{mix} = 100 - \left(\frac{G_{mb} P_{ca}}{G_{ca}} \right) \quad (3.7)$$

dengan:

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

Gmb = Berat jenis bulk campuran SMA yang dipadatkan, dan

Pca = Persen agregat kasar (tertahan saringan No. 4).

3.5.2 Pengujian Nilai Stabilitas dan Kelelahan (*Flow*)

Benda uji dipanaskan terlebih dulu selama 30menit dengan suhu 60°C di dalam *water bath* untuk mendapatkan temperatur benda uji sesuai dengan temperatur terpanas di lapangan. Pengukuran dilakukan dengan menempatkan benda uji di alat *Marshall* dengan pemberian beban ke 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 *flowmeternya*. Nilai stabilitas didapatkan untuk mengukur ketahanan benda uji terhadap beban. Sedangkan *flowmeter* didapatkan untuk mengukur besarnya deformasi yang terjadi akibat beban. 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 diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.8.

$$q = p \times q \quad (3.8)$$

dengan:

q = Nilai stabilitas,

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

q = Angka koreksi benda uji.

3.5.3 Perhitungan *Marshall Quotient (MQ)*

Marshall Quotient adalah perbandingan antara stabilitas dengan kelelahan plastis (*flow*) yang digunakan sebagai pendekatan terhadap tingkat kekakuan campuran (Djalante, 2011). Campuran aspal yang memiliki stabilitas tinggi dan

kelelahan plastis yang rendah akan menghasilkan nilai MQ yang tinggi, sehingga campuran tersebut kaku dan perkerasan tersebut mudah mengalami perubahan bentuk jika menerima beban lalu lintas. Sedangkan campuran aspal dengan stabilitas yang rendah dan kelelahan plastis yang tinggi akan menghasilkan MQ yang rendah, sehingga cenderung plastis dan tidak stabil (Muaya, 2015). 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), dan
 r = Nilai kelelahan plastis/ *flow* (mm).

3.6 Pengujian Perendaman (*Immersion Test*)

Pengujian Perendaman adalah metode yang digunakan untuk mengevaluasi pengaruh air terhadap campuran perkerasan aspal. Stabilitas ditentukan setelah satu hari perendaman pada suhu 60°C di dalam *waterbath*. Pengujian ini adalah salah satu parameter kinerja campuran beton aspal yang berkaitan dengan keawetan campuran perkerasan terhadap pengaruh air dan temperatur dalam waktu yang lama (Djalante, 2011). 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 dengan Persamaan 3.10.

$$IRS = \frac{MS_i}{MS_s} \quad (3.10)$$

dengan :

IRS = Indeks Stabilitas Sisa (%),
 MS_i = Stabilitas *Marshall* Perendaman (24 jam) (kg), dan

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

3.7 Pengujian *Indirect Tensile Strength (ITS)*

Indirect Tensile Strength Test merupakan metode untuk mengetahui nilai gaya tarik dari *asphalt concrete*. *Indirect Tensile Strength Test* memiliki sifat berupa kegagalan gaya tarik yang berguna untuk memperkirakan potensial retakan.

Benda uji untuk gaya tarik tidak langsung berbentuk silindris yang mengalami pembebanan tekan dengan dua plat penekan menciptakan tegangan tarik yang tegak lurus sepanjang diameter benda uji yang menyebabkan pecahnya benda uji.

Pengujian gaya tarik tidak langsung secara normal dilaksanakan menggunakan alat *Marshall* yang telah dimodifikasi dengan plat berbentuk cekung dengan lebar 12,5 mm pada bagian penekan *Marshall*. Pembacaan dial pada kekuatan tarik dihentikan saat jarum pengukur pembebanan telah berbalik arah atau berlawanan dengan arah jarum jam.

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 (Zachraini, 2012).

Menurut Sunarjono dkk. (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. Nilai gaya tarik tidak langsung dapat diperoleh menggunakan Persamaan 3.11.

$$ITS = \frac{P_{\text{runtuh}}}{h} \times A_0 \quad (3.11)$$

dengan :

ITS = nilai kuat tarik secara tidak langsung (Kg/cm²),

- P = beban puncak (Kg),
 H = tinggi benda uji (cm), dan
 A_0 = konstanta (tabel A_0 terlampir pada Lampiran).

3.8 Pengujian *Poisson Ratio*

Poisson ratio adalah perbandingan antara regangan lateral dengan regangan aksial yang disebabkan oleh beban sejajar sumbu dan regangan aksial. Angka *Poisson* dapat diperoleh menggunakan Persamaan 3.12.

$$\mu = \frac{\varepsilon_H}{\varepsilon_V} = \frac{\frac{\Delta H}{h}}{\frac{\Delta V}{h}} \quad (3.12)$$

dengan:

- μ = Angka *Poisson Ratio*,
 h = Tinggi sampel,
 Δ = Regangan horizontal dh (mm), dan
 Δ = Regangan vertikal dv (mm).

3.9 Pengujian *Cantabro*

Pengujian *cantabro* adalah pengujian yang berfungsi untuk mengetahui kehilangan berat dari benda uji setelah dilakukan tes abrasi dengan mesin *Los Angeles*. Sebelum dimasukkan ke dalam mesin *Los Angeles*, benda uji ditimbang terlebih dahulu untuk mendapatkan berat mulanya sebelum abrasi (M_0). Setelah itu benda uji dimasukkan ke drum mesin *Los Angeles* tanpa bola baja. Mesin *Los Angeles* kemudian dijalankan dengan kecepatan antara 30-33 rpm sebanyak 300 putaran. Selanjutnya benda uji dikeluarkan dan ditimbang dengan berat setelah abrasi (M_i). Kehilangan berat dapat diperoleh menggunakan Persamaan 3.13.

$$L = \frac{M_0 - M_i}{M_0} \times 100 \quad (3.13)$$

dengan :

- M_i = Berat setelah diabrasi (*gram*),
 M_0 = Berat sebelum diabrasi (*gram*), dan
 L = Persentase kehilangan berat (%).