

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Metode Marshall Test**

Metode Marshall Test dikembangkan oleh Bruce Marshall, seorang insinyur bahan aspal bersama-sama dengan *The Mississippi State Highway Department*. Kemudian pada tahun 1948 *The U.S. Army Corp of Engineering* meningkatkan dan menambah beberapa kriteria pada prosedur testnya dan pada akhirnya mengembangkan kriteria rancangan campuran pengujianya, kemudian distandarisasikan didalam *American Society for Testing and Material* 1989 (*ASTM D-1559*), Sejak itu test ini banyak diadopsi oleh berbagai organisasi dan pemerintahan.

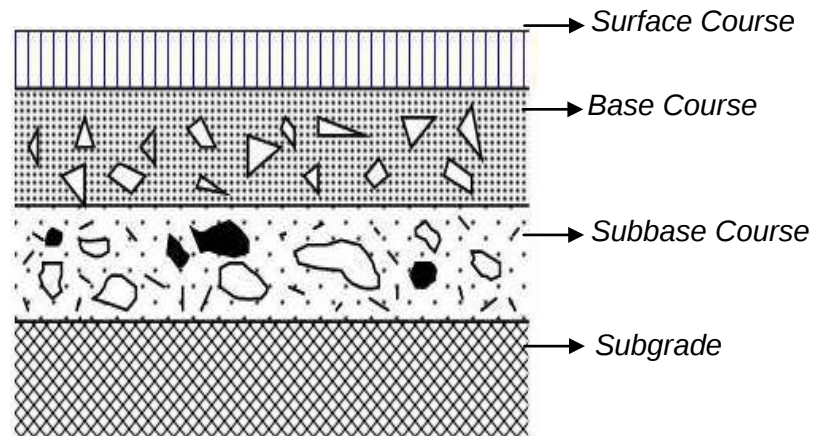
Parameter penting yang ditentukan pengujian ini adalah beban maksimum yang dapat dipikul beton aspal padat sebelum hancur atau *Marshall Stability* dan jumlah akumulasi deformasi sampel sebelum hancur yang disebut *Marshall Flow*. Dan juga turunan dari keduanya yang merupakan nilai kekakuan berkembang (*pseudo stiffness*), yang menunjukkan ketahanan campuran terhadap deformasi permanen (*Shell Bitumen*, 1990). Parameter lain yang penting adalah analisis *void* yang terdiri dari *Void in The Mineral Aggregate (VMA)*, *Void in Mix (VIM)*, *Void Filled with Aspal (VFA)* yang ditentukan pada kondisi *Marshall* standar (2 x 75 tumbukan) dan *Marshall* kepadatan mutlak (2 x 400 tumbukan).

Pada sebagian besar agregat, daya ikat terhadap air jauh lebih besar jika dibandingkan terhadap aspal, karena air memiliki *wetting power* yang jauh lebih besar dari aspal. Keberadaan air yang terlalu lama pada permukaan beton aspal dan agregat juga akan berakibat kegagalan pengikatan ataupun berakibat munculnya potensi kehilangan daya ikat campuran beraspal.

#### **2.2 Konstruksi Perkerasan Lentur**

Perkerasan jalan adalah campuran antara agregat dengan bahan pengikat yang digunakan untuk melayani beban lalu lintas. Agregat yang dipakai antara lain adalah agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi (*filler*). Sedangkan bahan pengikatnya aspal dan semen.

Umumnya konstruksi perkerasan jalan raya dibagi menjadi lapisan perkerasan yang diletakkan di atas tanah dasar, yaitu lapis permukaan, pondasi atas, pondasi bawah, dan tanah dasar. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.1.



**Gambar 2.1 Struktur Lapis Perkerasan Jalan Raya** Sumber: Konstruksi Perkerasan Lentur, (Sukirman 2003)

### 2.2.1 Lapis Permukaan (*Surface Course*)

Pada umumnya lapis permukaan dibuat dengan menggunakan aspal sehingga menghasilkan lapisan yang kedap air dengan stabilitas yang tinggi dan daya yang tahan lama. Lapisan ini berada paling atas atau lapisan yang bersentuhan langsung dengan ban kendaraan.

Fungsi dari lapisan ini:

1. Lapisan perkerasan penahan roda, dengan persyaratan harus memiliki kualitas tinggi untuk menahan beban roda selama masa pelayanan.
2. Lapisan kedap air, sehingga air hujan yang jatuh di atasnya tidak meresap ke lapisan di bawahnya dan melemahkan lapisan tersebut.
3. Lapis aus (*wearing course*), lapisan yang langsung menerima gesekan akibat rem kendaraan sehingga mudah menjadi aus.
4. Lapis yang menyebarkan beban ke bawah, sehingga dapat dipikul oleh lapisan lain dengan daya dukung yang lebih buruk.

### **2.2.2 Lapis Pondasi Atas (*Base Course*)**

Lapis pondasi atas adalah bagian dari perkerasan yang letaknya tepat di bawah lapis permukaan. Lapisan pondasi diletakan di atas lapis pondasi bawah, atau jika tanpa lapisan pondasi bawah, maka letaknya langsung di atas tanah dasar. Lapis pondasi mendukung beban yang berat, sehingga merupakan bagian perkerasan yang penting.

Fungsi dari lapisan ini:

1. Bagian perkerasan yang menahan gaya lintang dari beban roda dan menyebarkan beban ke lapisan di bawahnya.
2. Lapisan peresapan untuk lapisan pondasi bawah.
3. Sebagai bantalan terhadap lapisan permukaan.

Kriteria kekuatan lapis pondasi biasanya didasarkan pada nilai CBR atau nilai-R (*R-value*). Untuk memperoleh karakteristik tegangan regangan (*modulus elastis*), maka nilai dapat ditentukan dari uji triaksial dengan beban berulang.

Menurut Spesifikasi Bina Marga Tahun 2010 Revisi III, macam-macam bahan alam yang mempunyai CBR minimum 90% dan indeks plastis (*PI*)  $\leq 6$  dapat digunakan untuk lapis pondasi, seperti : batu pecah, kerikil pecah dan tanah yang distabilisasi dengan bahan tertentu seperti semen atau kapur. Jenis lapisan pondasi atas yang umum digunakan di Indonesia antara lain agregat bergradasi baik yaitu agregat kelas A.

### **2.2.3 Lapis Pondasi Bawah (*Subbase Course*)**

Lapis pondasi bawah adalah bagian perkerasan yang terletak antara lapis pondasi dan tanah dasar. Fungsi dari lapisan ini adalah :

1. Sebagai bagian dari konstruksi perkerasan untuk menyebarkan beban roda kendaraan.
2. Mencapai efisiensi penggunaan material yang relatif murah agar lapisan-lapisan selebihnya dapat dikurangi tebalnya (*penghematan biaya konstruksi*).
3. Untuk mencegah tanah dasar masuk ke dalam lapis pondasi.
4. Sebagai lapisan pertama agar pelaksanaan dapat berjalan lancar. Hal ini sehubungan dengan terlalu lemahnya daya dukung tanah dasar terhadap roda-roda alat berat atau karena kondisi lapangan yang memaksa harus segera menutup tanah dasar dari pengaruh cuaca.
5. Sebagai lapisan peresapan (*drainage blanket sheet*) agar air tanah tidak mengumpul di pondasi maupun tanah dasar.

#### **2.2.4 Tanah Dasar (*Subgrade*)**

Tanah dasar (*Subgrade*) merupakan permukaan tanah dasar untuk perletakan bagian-bagian perkerasan lainnya. Kekuatan dan keawetan maupun tebal dari lapisan konstruksi perkerasan jalan sangat tergantung dari sifat-sifat dan daya dukung tanah dasar. Material tanah sebagai pembentuk tanah dasar harus memiliki harga CBR tidak kurang dari 6% setelah perendaman selama 4 hari dan dipadatkan 100% dari kepadatan kering maksimum.

Lapisan tanah dasar dapat berupa tanah asli yang dipadatkan jika tanah aslinya baik, tanah yang didatangkan dari tempat lain dan dipadatkan atau tanah yang distabilisasi dengan kapur atau bahan lainnya. Pemadatan yang baik diperoleh jika dilakukan pada kadar air optimum dan diusahakan kadar air konstan selama umur rencana. Hal ini dapat dicapai dengan pelengkapan drainase yang memenuhi syarat.

Sebelum diletakan lapisan-lapisan lainnya, tanah dasar dipadatkan terlebih dahulu sehingga tercapai kestabilan yang tinggi terhadap perubahan volume.

### **2.3 Bahan Campuran Beton Aspal**

#### **2.3.1 Aspal**

Aspal adalah material perekat yang pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat bersifat termoplastis, artinya aspal akan mencair jika dipanaskan sampai temperatur tertentu dan kembali membeku jika temperaturnya turun. Bersama dengan agregat, aspal merupakan material pembentuk campuran perkerasan jalan. Bahan pengikat yang dipergunakan adalah aspal keras dengan penetrasi 60/70 produksi Pertamina.

Kandungan aspal yang berlebihan pada campuran laston akan mengakibatkan campuran akan menjadi sangat lembek sehingga pada saat pemadatan sulit untuk mendapatkan lapisan yang stabil. Namun penggunaan aspal yang kurang akan mengakibatkan campuran menjadi kaku dan retak-retak pada saat pemadatan. Persyaratan Aspal Keras Penetrasi 60 dapat dilihat pada tabel 2.1.

Pada pengujian-pengujian laboratorium, terutama untuk pengujian yang menggunakan metode Marshall penentuan kadar aspal dilakukan sebanyak dua kali. Penentuan pertama adalah menentukan kadar aspal rencana atau tengah dengan menggunakan rumus yang bertujuan untuk membuat rancangan campuran sedangkan

penentuan kedua adalah menentukan kadar aspal optimum. Kadar aspal optimum hanya dapat ditentukan lewat pengujian laboratorium terhadap parameter Marshall.

**Tabel 2.1. Ketentuan-ketentuan untuk Aspal Keras**

| No.                                             | Jenis Pengujian                                   | Metoda Pengujian     | Tipe I Aspal Pen. 60-70 |
|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------|-------------------------|
| 1.                                              | Penetrasi pada 25°C (dmm)                         | 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 06-6441-2000     | ≥300                    |
| 4.                                              | Titik Lembek (°C)                                 | SNI 06-2434-2011     | ≥48                     |
| 5.                                              | Duktilitas pada 25°C, (cm)                        | SNI-06-2432-2011     | ≥100                    |
| 6.                                              | Titik Nyala (°C)                                  | SNI-06-2433-2011     | ≥232                    |
| 7.                                              | Kelarutan dalam Trichloroethylene (%)             | AASHTO T44-03        | ≥99                     |
| 8.                                              | Berat Jenis (Gr/cc)                               | SNI-06-2441-2011     | ≥1,0                    |
| 9.                                              | Stabilitas Penyimpanan Perbedaan Titik Lembek(°C) | ASTM D 5976 part 6.1 | -                       |
| <b>Pengujian Residu hasil TFOT atau RTFOT :</b> |                                                   |                      |                         |
| 10.                                             | Berat yang Hilang (%)                             | SNI 06-2441-1991     | ≤ 0.8                   |
| 11.                                             | Viskositas Dinamis 60°C (Pa.s)                    | SNI-03-6441-2000     | ≤ 800                   |
| 12.                                             | Penetrasi pada 25°C (%)                           | SNI-06-2456-1991     | ≥ 54                    |
| 13.                                             | Daktilitas pada 25°C (cm)                         | SNI 2432:2011        | ≥ 100                   |
| 14.                                             | Keelastisan setelah Pengembalian (%)              | AASHTO T 301-98      | -                       |

Sumber :Buku Spesifikasi Umum Bina Marga Divisi 6, Tahun 2010 Revisi 3.

### 2.3.2 Agregat

Agregat adalah sekumpul butir - butir batu pecah, kerikil, pasir, abu batu atau mineral lainnya berupa hasil alam atau buatan. Agregat juga dapat didefinisikan secara umum sebagai formasi kulit bumi yang keras dan kenyal (*Solid*). Agregat juga didefinisikan sebagai batuan yang terdiri dari mineral padat, berupa massa berukuran besar ataupun berukuran kecil. Berdasarkan besar kecilnya butiran agregat dibagi atas agregat kasar dan agregat halus.

### 2.3.2.1 Agregat Kasar

Agregat kasar adalah agregat yang lebih besar dari 4,75 mm menurut ASTM atau lebih dari 2 mm menurut AASTHO, (Sukirman Silvia, 1992) atau agregat yang tertahan pada ayakan No. 4 (4,75 mm) yang dilakukan secara basah dan harus bersih, keras awet dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya (Spesifikasi Umum Bina Marga Divisi 6. 2010 Revisi 2). Ketentuanyang harus dipenuhi oleh agregat kasar menurut spesifikasi Bina Marga dapat dilihat pada tabel 2,2.

**Tabel 2.2. 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           | Campuran AC Modifikasi                        | 100 putaran      | SNI 2417 : 2008 | 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<br>Perbandingan 1:5 | Maks. 10 %          |
| Material Lolos Ayakan No. 200             |                                               |                  |                 | SNI 03-4142-1996               | Maks. 2 %           |

Sumber :Buku Spesifikasi umum Bina Marga Divisi 6, Tahun 2010 Revisi 3.

### 2.3.2.2 Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat yang lebih kecil dari 4,75 mm menurut ASTM atau lebih kecil dari 2 mm dan lebih besar dari 0.075 mm menurut AASTHO, (Sukirman Silvia, 1992) atau Agregat halus adalah agregat yang terdiri dari pasir atau pengayakan batu pecah dan yang lolos saringan no. 4 atau 4,75 mm (Spesifikasi Umum Bina Marga Divisi 6. 2010 Revisi 2).

Adapun ketentuan agregat halus menurut spesifikasi Bina Marga dapat dilihat pada tabel 2.3.

**Tabel 2.3. Ketentuan Agregat Halus**

| Pengujian                           | Standar            | Nilai     |
|-------------------------------------|--------------------|-----------|
| Nilai Setara Pasir                  | SNI 03-4428-1997   | Min. 60%  |
| Angularitas dengan Uji Kadar Rongga | SNI 03-6877-2002   | Maks. 45% |
| Kadar Lempung                       | SNI 03-4141-1996   | Maks. 1%  |
| Agerag Lolos Ayakan No.200          | SNI ASTM C117:2012 | Maks. 10% |

Sumber :Buku Spesifikasi umum Bina Marga Divisi 6, Tahun 2010 Revisi 3.

### **2.3.3 Filler / Bahan Pengisi**

Menurut Spesifikasi Umum Bina Marga Divisi 6, Tahun 2010 Revisi 2, bahan pengisi (*Filler*) harus memenuhi persyaratan :

- 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.
- 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.
- Bilamana kapur tidak terhidrasi atau terhidrasi sebagian, digunakan sebagai bahan pengisi yang ditambahkan maka proporsi maksimum yang diijinkan adalah 1,0 % dari berat total campuran beraspal.
- Semua campuran beraspal yang mengandung bahan pengisi yang ditambahkan tidak kurang dari 1 % dan maksimum 2 % dari berat total agregat.

### **2.4 Bahan Aditif Karet Ban Dalam Bekas**

Karet ban dalam bekas merupakan bahan buangan padat dari sisa atau bekas pemakaian pada kendaraan yang menggunakan ban dalam dimana ban dalam adalah ban yang lebih tipis dan di pasang sebelah dalam dari ban luar lalu difungsikan sebagai tempat udara dimasukan atau dipompakan. Proses pembuaatan ban dalam menggunakan tiga bahan utama yaitu karet, karbon hitam dan pelumas. Ketiga material tersebut dilebur menjadi

satu sehingga membentuk suatu gumpalan karet kemudian dilanjutkan ke tahapan berikutnya sampai menjadi ban dalam. Ban dalam memiliki sifat elastis, isolator kejutan dan getaran, kedap air, tidak mudah panas, sulit terurai sehingga tahan lama dan titik leleh 90-120°C.

Dalam penggunaan bahan pembuatan ban dalam, karet memberikan kontribusi besar (lebih kurang 70% berat). Karet terdiri dari senyawa kimia yang disebut hidrokarbon dan tersusun atas rantai-rantai yang panjang yang mengandung 1000-5000 unit isoprene. Susunan ruang demikian membuat karet mempunyai sifat kenyal.

Adapun kelebihan-kelebihan yang dimiliki karet ban dalam antara lain :

- a. Memiliki daya elastis atau daya lenting yang sempurna,
- b. Memiliki plastisitas yang baik sehingga pengolahannya mudah,
- c. Mempunyai daya aus tinggi,
- d. Tidak mudah panas (*low heat build up*) dan
- e. Memiliki daya tahan yang tinggi terhadap keretakan (*groove cracking resistance*)

Penggunaan karet pada konstruksi jalan raya kerap dilakukan dengan kelebihan sebagai berikut :

- a. Titik leleh lebih tinggi
- b. Lebih tahan terhadap gaya geser
- c. Menaikan umur aspal
- d. Mengurangi sifat licin pada jalan
- e. Mengurangi aspal dari resiko lelasan
- f. Aspal menjadi isolator listrik
- g. Aspal menjadi isolator kejutan dan getaran
- h. Meningkatkan daya tahan terhadap suhu dan retak
- i. Meningkatkan ketahanan terhadap deformasi plastis
- j. Meningkatkan nilai ketahanan terhadap air
- k. Meningkatkan nilai kohesi dan adhesi
- l. Dapat mengurangi limbah padat

Karet ban dalam dapat mencair apabila dipanaskan pada suhu tertentu sehingga sangatlah mudah bagi karet untuk bersenyawa dengan aspal beton dalam kondisi panas dan mencair.

Pada proses pencampuran karet ban dalam bekas dalam campuran aspal, dilakukan dengan menambahkan aspal pada karet ban dalam bekas yang telah dipanaskan didalam wajan lalu diaduk sampai aspal dan karet ban dalam benar-benar homogen.

Proses penambahan Karet ban dalam di laboratorium.

- 1) Penentuan kadar aspal optimum
- 2) Karet ban dalam bekas yang telah ditimbang, dipanaskan didalam wajan hingga mencapai titik leleh dan ditambahkan kadar aspal optimum yang juga telah ditimbang, diaduk hingga mencair dan homogen lalu masukan campuran agregat yang telah timbang secara kumulatif dengan masing-masing beratnya.
- 3) Dicampur dan diaduk dalam keadaan panas sampai mencapai suhu 140 – 155°C
- 4) Lakukan pemadatan 2 x 75 tumbukan
- 5) Pengujian *Marshall*

## **2.5 Lapis Aspal Beton AC-WC**

Menurut Bina Marga (1987), Lapis Aspal Beton (LASTON) merupakan suatu lapisan pada konstruksi jalan yang terdiri dari campuran aspal keras, agregat yang mempunyai gradasi menerus, dicampur, dihampar, dipadatkan dalam keadaan panas.

1. Tujuan Pembuatan Laston adalah :

- a. Untuk mendapatkan suatu lapisan permukaan atau lapis antara yang terdapat pada perkerasan jalan raya yang mampu memberikan sumbangan daya dukung yang terukur serta berfungsi sebagai lapisan kedap air yang dapat melindungi konstruksi dibawahnya.
- b. Sebagai lapisan permukaan, laston harus dapat memberikan kenyamanan dan keamanan tingkat tinggi.
- c. Laston dibuat melalui proses penyiapan bahan, pencampuran, pengangkutan, penghamparan serta pemadatan yang benar-benar terkendali sehingga dapat diperoleh lapisan yang memenuhi syarat.

2. Fungsi Laston yaitu :

- a. Sebagai pendukung beban lalu lintas.

- b. Sebagai pelindung konstruksi dibawahnya dari kerusakan akibat pengaruh air dan cuaca.
  - c. Sebagai lapis aus.
  - d. Menyediakan permukaan jalan yang rata.
3. Sifat Laston yaitu :
- a. Tahan terhadap keausan akibat beban lalu lintas.
  - b. Kedap air.
  - c. Mempunyai nilai struktural yang tinggi.
  - d. Mempunyai stabilitas yang tinggi.
  - e. Peka terhadap penyimpangan perencanaan pelaksanaan.

Sukirman,S.(2007) menjelaskan bahwa laston dapat digunakan untuk jalan-jalan dengan beban lalu lintas berat.

## **2.6 Gradasi Agregat Campuran**

Gradasi agregat adalah susunan dari beberapa ukuran butiran agregat yang membentuk suatu campuran agregat yang terdiri dari beberapa fraksi agregat. Gradasi agregat mempengaruhi besarnya rongga antar butir yang menentukan karakteristik dalam proses pelaksanaan di laboratorium maupun di lapangan (*AMP*).

Gradasi agregat gabungan untuk campuran AC-WC adalah gradasi gabungan antara beberapa agregat dengan prosentase tertentu untuk mendapatkan agregat dengan gradasi yang sesuai dengan spesifikasi, yang mempunyai gradasi menerus ditunjukkan dalam persen berat agregat, harus memenuhi batas-batas dan harus berada di dalam daerah batas spesifikasi.

Gradasi atau distribusi partikel-partikel berdasarkan ukuran agregat merupakan hal yang penting dalam menentukan karakteristik perkerasan.Gradasi agregat pada Laston adalah jenis gradasi baik, yaitu campuran agregat dengan ukuran butiran yang terdistribusi merata dalam rentang ukuran butiran.Agregat bergradasi baik disebut juga dengan agregat bergradasi rapat.

Agregat bergradasi baik dapat dikelompokkan menjadi :

1. Agregat bergradasi kasar, adalah agregat bergradasi baik yang didominasi oleh agregat ukuran butiran kasar.

2. Agregat bergradasi halus, adalah agregat bergradasi baik yang didominasi oleh agregat ukuran butiran halus.

Penentuan distribusi ukuran agregat akan mempengaruhi kekakuan jenis campuran aspal. Gradasi rapat akan menghasilkan campuran dengan kekakuan yang lebih besar dibandingkan gradasi terbuka. Dari segi kelelahan, kekakuan adalah suatu hal yang sangat penting karena akan mempengaruhi tegangan dan regangan yang diterima campuran beraspal panas akibat beban dinamik lalu lintas.

Spesifikasi baru beton aspal menetapkan gradasi dengan spesifikasi khusus yaitu target gradasi berada dalam batas kontrol seperti pada Tabel 2.4. Garis kontrol berfungsi sebagai batas rentang dimana suatu target gradasi harus berada di dalam garis tersebut yaitu diukur maksimum dan terkecil saringan (19 mm) dan ukuran saringan terkecil (0,075 mm).

**Tabel 2.4. Gradasi Agregat gabungan untuk Campuran Aspal**

| Ukuran Ayakan (mm) | % Berat Yang Lolos terhadap Total Agregat dalam Campuran |         |                              |                      |                                   |         |             |         |         |
|--------------------|----------------------------------------------------------|---------|------------------------------|----------------------|-----------------------------------|---------|-------------|---------|---------|
|                    | Latasir (SS)                                             |         | Lataston (HRS)               |                      |                                   |         | Laston (AC) |         |         |
|                    |                                                          |         | Gradasi Senjang <sup>3</sup> |                      | Gradasi Semi Senjang <sup>2</sup> |         |             |         |         |
|                    | Kelas A                                                  | Kelas B | WC                           | Base                 | WC                                | Base    | WC          | BC      | Base    |
| 37,5               |                                                          |         |                              |                      |                                   |         |             |         | 100     |
| 25                 |                                                          |         |                              |                      |                                   |         |             | 100     | 90 -100 |
| 19                 | 100                                                      | 100     | 100                          | 100                  | 100                               | 100     | 100         | 90 -100 | 76 - 90 |
| 12,5               |                                                          |         | 90 -100                      | 90 -100              | 87 - 100                          | 90 -100 | 90 -100     | 75 - 90 | 60 - 78 |
| 9,5                | 90 -100                                                  |         | 75 - 85                      | 65-90                | 55 - 88                           | 55 - 70 | 77 - 90     | 66 - 82 | 52 - 71 |
| 4,75               |                                                          |         |                              |                      |                                   |         | 53 - 69     | 46 -64  | 35 - 54 |
| 2,36               |                                                          | 75 -100 | 50 - 72 <sup>3</sup>         | 35 - 55 <sup>3</sup> | 50 -62                            | 32 - 44 | 33 - 53     | 30 - 49 | 23 - 41 |
| 1,18               |                                                          |         |                              |                      |                                   |         | 21 - 40     | 18 - 38 | 13 - 30 |
| 0,600              |                                                          |         | 35 - 60                      | 15 - 35              | 20 - 45                           | 15 - 35 | 14 -30      | 12 - 28 | 10 - 22 |
| 0,300              |                                                          |         |                              |                      | 15 - 35                           | 5 - 35  | 9 - 22      | 7 - 20  | 6 - 15  |
| 0,150              |                                                          |         |                              |                      |                                   |         | 6 - 15      | 5 - 13  | 4 - 10  |
| 0,075              | 10 -15                                                   | 8 -13   | 6 -10                        | 2 - 9                | 6 -10                             | 4 - 8   | 4 - 9       | 4 - 8   | 3 - 7   |

Sumber :Buku Spesifikasi umum Bina Marga Divisi 6, Tahun 2010 Revisi 2.

## 2.7 Karakteristik Beton Aspal

Karakteristik campuran yang harus dimiliki oleh campuran aspal beton campuran panas adalah :

1. Stabilitas
2. Durabilitas
3. Fleksibilitas
4. Tahanan geser (*Skid Resistance*)

5. Ketahanan kelelahan (*Fatigue Resistance*)
6. Kemudahan pekerjaan (*Workability*)
7. *Impermeability*

### 2.7.1 Stabilitas

Stabilitas lapisan perkerasan jalan adalah kemampuan lapisan perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur ataupun bleeding (Sukirman Silvia, Perkerasan Lentur Jalan Raya). Kebutuhan akan stabilitas setingkat dengan jumlah lalu lintas dan jumlah kendaraan yang akan menggunakan jalan tersebut. Jalan yang volume lalu lintasnya tinggi dan sebagian merupakan kendaraan berat menuntut stabilitas yang besar dibandingkan dengan jalan yang volume lalu lintasnya dilalui oleh kendaraan yang ringan saja.

Kestabilan yang terlalu tinggi menyebabkan lapisan itu menjadi kaku dan cepat mengalami retak, di samping itu karena volume antar agregat kurang, mengakibatkan kadar aspal yang dibutuhkan juga rendah. Hal ini menghasilkan film aspal tipis dan mengakibatkan ikatan aspal mudah lepas sehingga durabilitasnya rendah.

Stabilitas terjadi dari hasil geseran antara butir, penguncian antara partikel dan daya ikat yang baik dari lapisan aspal. Dengan demikian stabilitas yang tinggi dapat diperoleh dengan mengusahakan penggunaan :

1. Agregat dengan gradasi yang rapat (*Dense Graded*)
2. Agregat dengan permukaan yang kasar.
3. Agregat berbentuk kubus.
4. Aspal dengan penetrasi rendah.
5. Aspal dalam jumlah yang mencukupi untuk ikatan antar butir.

Agregat bergradasi baik, bergradasi rapat memberikan rongga antara butiran agregat (*Voids in Mineral Agregat = VMA*) yang kecil. Keadaan ini menghasilkan stabilitas yang tinggi, tetapi membutuhkan kadar aspal yang rendah untuk mengikat agregat. VMA yang kecil mengakibatkan aspal yang dapat menyelimuti agregat terbatas dan menghasilkan film aspal yang tipis. Film aspal yang tipis mudah lepas yang mengakibatkan lapisan tidak lagi kedap air, oksidasi mudah terjadi, dan lapisan perkerasan menjadi rusak. Pemakaian aspal yang banyak mengakibatkan aspal tidak lagi menyelimuti agregat dengan baik (VMA kecil) dan juga menghasilkan rongga antara campuran (*Voids in Mix =*

VIM ) yang kecil. Adanya beban lalu lintas yang menambah pemadatan lapisan mengakibatkan lapisan aspal meleleh keluar (*bleeding*).

### **2.7.2 Kelenturan (Fleksibilitas)**

Merupakan kemampuan beton aspal menerima beban lalu lintas secara terus menerus seperti berat kendaraan dan gesekan antar roda kendaraan dengan permukaan jalan, serta menahan keausan akibat pengaruh cuaca dan iklim seperti udara, air dan perubahan temperatur. Durabilitas beton aspal dipengaruhi oleh tebalnya film aspal, banyaknya pori dalam campuran, kepadatan dan kedap airnya campuran.

Film aspal yang tebal akan membungkus agregat secara baik, beton aspal akan lebih kedap air sehingga kemampuannya untuk menahan keausan semakin baik. Tetapi jika semakin tebal selimut aspal maka akan sangat 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 dalam beton aspal, menyebabkan semakin mudahnya film atau selimut aspal teroksidasi dengan udara sehingga menjadi getas dan menurun durabilitasnya.

### **2.7.3 Durabilitas (Keawetan)**

Salah satu karakteristik campuran yang harus dimiliki oleh beton aspal adalah durabilitas. Menurut Sukirman (2003), durabilitas atau keawetan adalah kemampuan beton aspal menerima 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.

Faktor-faktor yang mempengaruhi durabilitas lapis aspal beton:

1. Film aspal atau selimut aspal, film aspal yang tebal akan menghasilkan lapis aspal beton yang berdurabilitas tinggi, tetapi kemungkinan terjadi *bleeding* menjadi tinggi.
2. VIM kecil sehingga lapisan kedap air dan udara tidak masuk ke dalam campuran yang mengakibatkan terjadinya oksidasi dan aspal menjadi rapuh /getas.
3. VMA besar, sehingga film aspal dibuat besar. Jika VMA dan VIM kecil serta kadar aspal tinggi kemungkinan terjadinya *bleeding* itu besar. Untuk mencapai VMA yang besar ini digunakan agregat bergradasi senjang.

Dalam proses pengujian, terdapat 2 (dua) pengujian nilai durabilitas :

#### 1. Metode Pengujian Durabilitas Standar

Prosedur pengujian durabilitas standar menurut Bina Marga (2010) yaitu dilakukan dengan perendaman benda uji pada temperature tetap  $\pm 60^{\circ}\text{C}$  selama 30 menit dan 24 jam. Perbandingan nilai stabilitas yang direndam selama 24 jam dengan nilai stabilitas yang direndam dalam 30 menit, dinyatakan dalam persen, dan disebut Indeks Kekuatan Sisa (IKS).

Nilai Indeks Kekuatan Sisa (IKS) dapat dihitung dengan persamaan berikut ini :

$$IKS = \frac{S_2}{S_1} \times 100\% \dots\dots\dots (2.1)$$

Dengan :

IKS : Indeks Kekuatan Sisa (%)

$S_1$  : stabilitas *Marshall* standar dengan perendaman selama 30 menit pada suhu  $\pm 60^{\circ}\text{C}$ , (kg)

$S_2$  : stabilitas *Marshall* setelah perendaman selama 24 jam pada suhu  $\pm 60^{\circ}\text{C}$ , (kg)

Nilai IKS Yang semakin besar menunjukkan campuran beraspal semakin *durable* (awet). Nilai minimum IKS yang disyaratkan Bina Marga sebesar 90 %, sehingga jika nilai IKS diatas 90 % maka campuran beraspal tersebut dianggap cukup tahan terhadap kerusakan yang diakibatkan oleh pengaruh air dan suhu.

#### 2. Metode Pengujian Durabilitas Modifikasi

Beberapa peneliti melakukan penelitian tingkat keawetan dengan pengujian masa perendaman yang lebih lama. *Craus, J. etal* (1981) memperkenalkan 2 (dua) macam indeks keawetan yaitu :

##### a) Indeks Durabilitas Pertama (IDP)

Indeks Durabilitas Pertama didefinisikan sebagai kelandaian yang berurutan dari kurva keawetan. Indeks Durabilitas Pertama juga dapat didefinisikan sebagai nilai sensitivitas penurunan stabilitas benda uji terhadap lama perendaman.

Indeks Durabilitas Pertama dinyatakan dalam (r) dihitung berdasarkan poersamaan berikut ini :

$$r = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{S_i - S_{i+1}}{t_{i+1} - t_i} \dots\dots\dots (2.2)$$

dengan :

- $r$  = Indeks Penurunan Stabilitas (%)
- $S_{i+1}$  = persentase kekuatan sisa pada waktu  $t_{i+1}$  (%)
- $S_i$  = persentase kekuatan sisa pada waktu  $t_i$  (%)
- $t_i, t_{i+1}$  = periode perendaman, dimulai dari awal pengujian (jam)

Semakin landai penurunan IDP maka semakin kecil kehilangan kekuatan dan semakin curam penurunan nilai IDP maka semakin besar kehilangan kekuatan atau semakin sensitive terhadap perendaman.

Nilai ( $r$ ) positif bilamana mengalami penurunan nilai stabilitas yang mengindikasikan kehilangan kekuatan, sedangkan nilai ( $r$ ) negatif bilamana mengalami peningkatan nilai stabilitas yang mengindikasikan adanya perolehan kekuatan.

#### b) Indeks Durabilitas Kedua (IDK)

Indeks Durabilitas Kedua didefinisikan sebagai persentase kehilangan kekuatan rata-rata selama satu hari antara kurva keawetan dengan garis  $S_0 = 100 \%$ .

Indeks Durabilitas Kedua dinyatakan dalam ( $a$ ) dihitung berdasarkan persamaan berikut :

$$a = \frac{1}{2t_n} + \sum_{i=0}^{n-1} (S_i - S_{i+1}) [2t_n - (t_{i+1})] \dots \dots \dots (2.3)$$

Dengan :

- $a$  : persentase kehilangan kekuatan selama 1 hari (%)
- $S_{i+1}$  : persentase kekuatan sisa pada waktu  $t_{i+1}$  (%)
- $S_i$  : persentase kekuatan sisa pada waktu  $t_i$  (%)
- $t_i, t_{i+1}$  : periode perendaman, dimulai dari awal pengujian (jam)
- $t_n$  : total waktu perendaman (jam)

Semakin kecil nilai IDK maka semakin kecil kehilangan kekuatan dan semakin besar nilai IDK maka semakin besar pula kehilangan kekuatannya atau semakin tidak *durable*.

Indeks durabilitas ini menggambarkan kehilangan kekuatan satu hari. Nilai ' $a$ ' positif menggambarkan kehilangan kekuatan, sedangkan nilai ' $a$ ' negative merupakan pertambahan kekuatan. Berdasarkan definisi tersebut, maka  $a < 100$ . Oleh karena itu, memungkinkan untuk menyatakan persentase kekuatan sisa satu hari ( $S_a$ ) sebagai berikut :

$$S_a = (100-a) \dots\dots\dots (2.4)$$

Nilai Indeks Durabilitas Kedua juga dapat dinyatakan dalam bentuk nilai absolute dari ekuivalen kehilangan kekuatan sebagai berikut :

$$A = \frac{a}{100} \times S_o \dots\dots\dots (2.5)$$

Dengan :

A : nilai absolute kehilangan kekuatan selama 1 hari (kg)

S<sub>o</sub> : nilai absolute kekuatan awal (kg)

#### 2.7.4 Impermeabilitas

*Impermeability* adalah campuran aspal harus bersifat kedap air untuk melindungi lapisan perkerasan dibawahnya dari kerusakan yang disebabkan oleh air yang akan mengakibatkan campuran menjadi kehilangan kekuatan dan kemampuan untuk menahan beban lalu lintas.

#### 2.7.5 Ketahanan Kelelahan (Fatigue Resistance)

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

Faktor yang mempengaruhi ketahanan terhadap kelelahan adalah:

1. *Void In Mix*(VIM) yang tinggi dan kadar aspal yang rendah akan mengakibatkan kelelahan yang lebih cepat.
2. *Void in Mineral Aggregate* (VMA) yang tinggi dan kadar aspal yang tinggi dapat mengakibatkan lapis perkerasan menjadi fleksibel.

#### 2.7.6 Kemudahan Pelaksanaan

Kemudahan pekerjaan adalah mudahnya suatu campuran untuk dihampar dan dipadatkan sehingga diperoleh hasil yang memenuhi kepadatan yang diharapkan.

Faktor yang mempengaruhi kemudahan dalam pelaksanaan adalah :

1. Gradasi agregat, agregat bergradasi baik lebih mudah dilaksanakan dari pada agregat bergradasi lain.

2. Temperatur campuran, ikut mempengaruhi kekerasan bahan pengikat yang bersifat termoplastis.
3. Kandungan bahan pengisi (*Filler*) yang tinggi mengakibatkan pelaksanaan yang lebih sukar.

### 2.7.7 Tahanan Geser (Skid Resistance)

Tahanan geser adalah kekesatan yang diberikan oleh perkerasan sehingga kendaraan tidak mengalami selip baik diwaktu hujan atau basah maupun diwaktu kering. Kekesatan dinyatakan dengan koefisien gesek antar permukaan jalan dan ban kendaraan. Tahan geser tinggi apabila :

1. Penggunaan kadar aspal yang tepat sehingga tidak terjadi *bleeding*.
2. Penggunaan agregat dengan permukaan kasar
3. Penggunaan agregat berbentuk kubus
4. Penggunaan agregat kasar yang cukup

## 2.8 Kadar Aspal

Tahapan awal untuk membuat suatu formula campuran rencana adalah menggabungkan agregat (batu pecah, abu batu, dan (*filler*) dengan persentase tertentu untuk mendapatkan suatu agregat gabungan dengan gradasi yang memenuhi spesifikasi yang diberikan.

Pada pengujian di laboratorium, terutama pengujian yang menggunakan metode *marshall* penentuan kadar aspal dilakukan sebanyak dua (2) kali yaitu:

### 2.8.1 Penentuan Kadar Aspal Rencana

Perkiraan awal kadar aspal rencana dapat direncanakan setelah dilakukan pemilihan dan pengabungan agregat. Rumus perhitungannya sebagai berikut:

$$P_b = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%FF) + K \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan:

- $P_b$  = Perkiraan kadar aspal rencana
- $CA$  =  $100\% - \% \text{ agregat kasar yang tertahan saringan No. 8}$
- $FA$  =  $\% \text{ agregat halus lolos saringan No.8} - \% \text{ tertahan No. 200}$
- $FF$  = Nilai persentase *Filler*

K = Konstanta (kira-kira 0,5 - 1,0)

### 2.8.2 Penentuan Kadar Aspal Optimum

Kadar aspal optimum adalah nilai tengah dari rentang kadar aspal yang memenuhi semua spesifikasi campuran. Nilai kadar aspal optimum ditentukan oleh nilai parameter *marshall* (Stabilitas, Flow, VIM, VMA, dan VFB) yang memenuhi batas-batas spesifikasi campuran pada rentang kadar aspal  $\pm 0,5\%$

### 2.9 Karakteristik Marshall

Karakteristik campuran aspal panas agregat aspal dapat diukur dengan sifat-sifat *Marshall* yang ditunjukkan pada nilai-nilai sebagai berikut :

#### 1. Kerapatan (*Density*)

*Density* merupakan tingkat kerapatan campuran setelah dipadatkan. Semakin tinggi nilai *density* suatu campuran menunjukkan bahwa kerapatannya semakin baik. Nilai *density* dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti gradasi campuran, jenis dan kualitas bahan penyusun, faktor pemadatan yang baik jumlah pemadatan maupun temperatur pemadatan, penggunaan kadar aspal dan penambahan bahan aditif dalam campuran. Campuran dengan nilai *density* yang tinggi akan mampu menahan beban yang lebih besar dibanding dengan campuran yang memiliki *density* yang rendah, karena butiran agregat mempunyai bidang kontak yang luas sehingga gaya gesek (*friction*) antar butiran agregat lebih besar. Selain itu *density* juga mempengaruhi kedapannya campuran, semakin besar kedap terhadap campuran, semakin kedap terhadap air dan udara.

#### 2. Stabilitas (*Stability*)

Stabilitas merupakan kemampuan lapis keras untuk menahan deformasi akibat beban lalu lintas yang bekerja di atasnya tanpa mengalami perubahan bentuk tetap seperti gelombang (*was boarding*) dan alur (*ruting*). Nilai stabilitas dipengaruhi oleh bentuk, kualitas, tekstur permukaan dan gradasi agregat yaitu gesekan antar butiran agregat (*internal friction*) dan penguncian antar agregat (*interlocking*), daya lekat (*cohesion*) dan kadar aspal dalam campuran. Penggunaan aspal dalam campuran akan menentukan nilai stabilitas campuran tersebut. Seiring dengan penambahan aspal, nilai stabilitas campuran aspal akan meningkat hingga batas maksimum. Penambahan aspal di atas batas maksimum justru akan menurunkan stabilitas campuran itu sendiri sehingga lapis

perkerasan menjadi kaku dan bersifat getas. Nilai stabilitas berpengaruh pada fleksibilitas lapis perkerasan yang dihasilkan.

Nilai stabilitas yang diisyaratkan adalah lebih dari 800 kg. Lapis perkerasan dengan stabilitas kurang dari 800 kg akan mudah mengalami *ruting*, karena perkerasan bersifat lembek sehingga kurang mampu mendukung beban. Sebaliknya jika stabilitas perkerasan terlalu tinggi maka perkerasan akan mudah retak karena sifat perkerasan menjadi kaku.

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

*Void in the Mineral Aggregate (VMA)* adalah rongga udara antar butir agregat aspal padat, termasuk rongga udara dan kadar aspal efektif yang dinyatakan dalam persen terhadap total volume. Kuantitas rongga udara pengaruh terhadap kinerja suatu campuran karena jika *VMA* terlalu kecil maka campuran bisa mengalami masalah durabilitas dan jika *VMA* terlalu besar maka campuran akan memperlihatkan masalah stabilitas dan tidak ekonomis untuk diproduksi. Nilai *VMA* dipengaruhi oleh faktor pemadatan, yaitu data dan temperatur pemadatan, gradasi agregat dan kadar aspal. Nilai *VMA* ini berpengaruh pada sifat kedap air campuran terhadap air dan udara serta sifat elastis campuran. Dapat juga dikatakan bahwa nilai *VMA* menentukan stabilitas, fleksibilitas dan durabilitas. Nilai *VMA* yang diisyaratkan adalah minimum 15%.

4. *Void in the Mix (VIM)*

*Void in Mix (VIM)* merupakan persentase rongga yang terdapat dalam total campuran. Nilai *VIM* berpengaruh terhadap keawetan lapis perkerasan, semakin tinggi nilai *VIM* menunjukkan semakin besar rongga dalam campuran sehingga campuran bersifat porous. Hal ini mengakibatkan campuran menjadi kurang rapat sehingga air dan udara mudah memasuki rongga-rongga dalam campuran yang mengakibatkan aspal mudah teroksidasi sehingga menyebabkan lekatan antar butiran agregat berkurang sehingga terjadi pelepasan butiran (*reveling*) dan pengelupasan permukaan (*stripping*) pada lapis perkerasan.

Nilai *VIM* yang terlalu rendah akan menyebabkan *bleeding* karena suhu yang tinggi, maka viskositas aspal menurun sesuai sifat termoplastisnya. Pada saat itu apabila lapis perkerasan menerima beban lalu lintas maka aspal akan terdesak keluar permukaan karena tidak cukupnya rongga bagi aspal untuk melakukan penetrasi dalam lapisan perkerasan. Nilai *VIM* yang lebih dari ketentuan akan mengakibatkan berkurangnya

keawetan lapis perkerasan, karena rongga yang terlalu besar akan mudah terjadi oksidasi.

5. *Void Filled with Asphalt (VFA)*

*Void Filled with Asphalt (VFA)* merupakan persentase rongga terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan, yaitu jumlah dan temperatur pemadatan, gradasi agregat dan kadar aspal. Nilai *VFA* berpengaruh pada sifat kedap campuran terhadap air dan udara serta sifat campuran elastisitas campuran. Dengan kata lain *VFA* menentukan stabilitas, fleksibilitas dan durabilitas. Semakin tinggi nilai *VFA* berarti semakin banyak rongga dalam campuran yang terisi aspal sehingga kedap campuran terhadap air dan udara juga semakin tinggi, tetapi nilai *VFA* terlalu tinggi akan mengakibatkan *bleeding*. Nilai *VFA* yang terlalu kecil akan menyebabkan campuran kurang kedap terhadap air dan udara karena lapisan film aspal akan menjadi tipis dan akan mudah retak bila menerima penambahan beban sehingga campuran aspal mudah teroksidasi yang akhirnya menyebabkan lapis perkerasan tidak akan lama.

6. Kelelehan (*flow*)

Kelelehan (*flow*) adalah besarnya deformasi vertikal benda uji yang terjadi pada awal pembebanan sehingga durabilitas menurun, yang menunjukkan besarnya deformasi yang terjadi pada lapis perkerasan akibat menahan beban yang diterimanya. Deformasi yang terjadi erat kaitannya dengan sifat-sifat *Marshall* yang lain seperti stabilitas, *VIM* dan *VFA*. Nilai *VIM* yang besar menyebabkan berkurangnya *interlocking resistance* campuran dan berakibat timbulnya deformasi. Nilai *VFA* yang berlebihan juga menyebabkan aspal dalam campuran berubah konsistensinya menjadi pelicin antar batuan. Nilai *flow* dipengaruhi oleh kadar dan viskositas aspal, gradasi agregat jumlah dan temperatur pemadatan. Campuran yang memiliki angka kelelehan rendah dengan stabilitas tinggi cenderung menjadi kaku dan getas. Sedangkan campuran yang memiliki angka kelelehan tinggi dan stabilitas rendah cenderung plastis dan mudah berubah bentuk apabila mendapat beban lalu lintas. Kerapatan campuran yang baik, kadar aspal yang cukup dan stabilitas yang baik akan memberikan pengaruh penurunan nilai *flow*. Nilai *flow* yang rendah akan mengakibatkan campuran menjadi kaku sehingga lapis perkerasan menjadi mudah retak, sedangkan campuran dengan nilai *flow* tinggi akan menghasilkan lapis perkerasan yang plastis sehingga perkerasan akan mudah mengalami perubahan bentuk seperti gelombang (*washboarding*) dan alur (*ruting*).

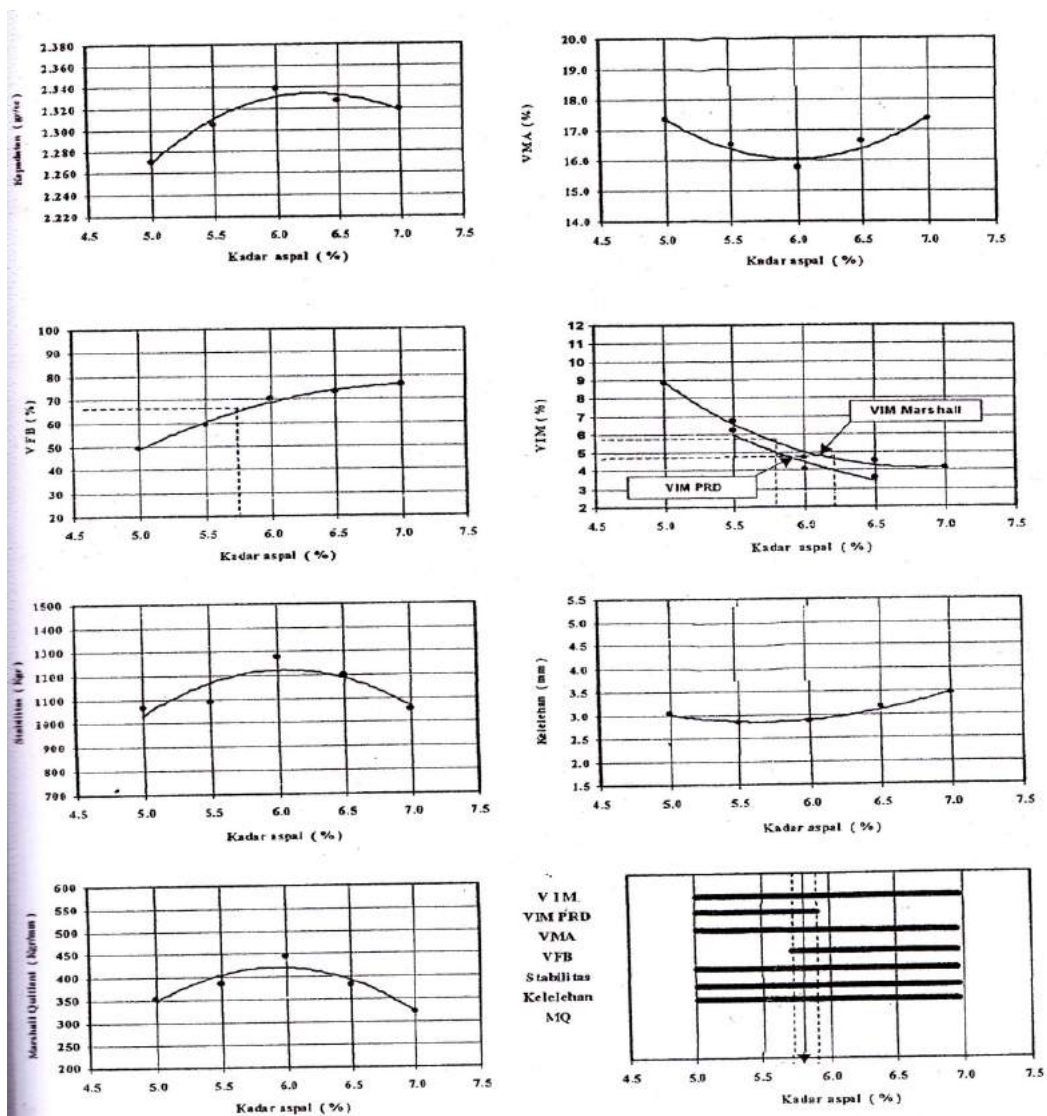
7. Hasil Bagi *Marshall* (*MQ*)

*MQ* merupakan hasil bagi antara stabilitas dengan *flow*. Nilai *MQ* akan memberikan nilai fleksibilitas campuran. Semakin besar nilai *MQ* berarti campuran semakin kaku, sebaliknya bila semakin kecil nilainya makanya campuran semakin lentur. Nilai *MQ* dipengaruhi oleh stabilitas dan *flow*. Nilai *MQ* diisyaratkan minimal 250 kg/mm. Nilai *MQ* dibawah 250 kg/mm mengakibatkan perkerasan mudah mengalami *wasboarding*, *ruting*, dan *bleeding*.

### 2.9.1 Hubungan Antara kadar aspal dengan parameter marshall

Kecendrungan bentuk lengkung hubungan antar kadar aspal dengan parameter *Marshall* adalah :

1. Stabilitas akan meningkat jika kadar aspal bertambah, sampai mencapai nilai maksimum, dan setelah nilai stabilitas itu menurun.
2. Kelelehan atau *flow* akan terus meningkat dengan meningkatnya kadar aspal.
3. Lengkung berat volume identik dengan lengkung stabilitas, tetapi nilai stabilitas tercapai pada kadar aspal yang sedikit lebih tinggi dari kadar aspal untuk mencapai *VMA* stabilitas maksimum.
4. Lengkung *VMA* akan terus menurun dengan bertambahnya kadar aspal sampai secara ultimit mencapai nilai minimum.
5. Lengkung *VMA* akan turun sampai mencapai nilai minimum dan kemudian kembali bertambahnya kadar aspal.
6. Lengkung *FVA* akan bertambah dengan bertambahnya kadar aspal, karena dalam hal ini makin banyak terisi oleh aspal.



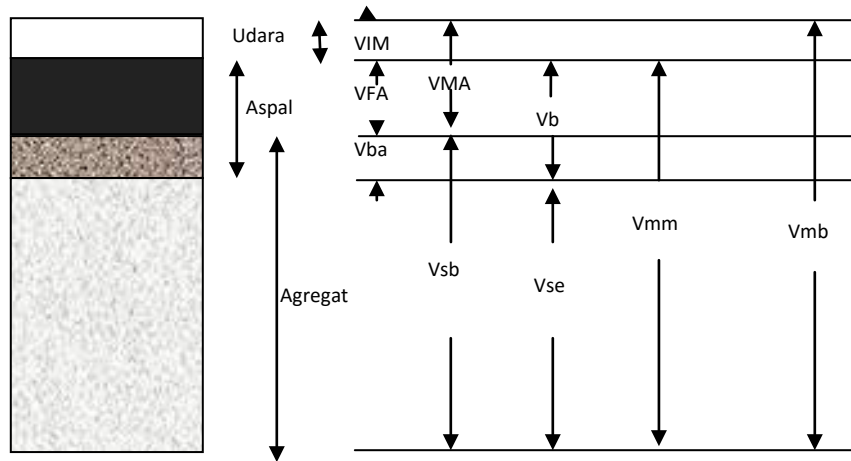
**Gambar 2.2 Contoh Hubungan *Marshall* Dengan Kadar Aspal**

(Manual Campuran Aspal Panas, 2002, Grafik Percobaan *Marshall* Spesifikasi AC-WC)

## 2.9.2 Volumetrik Campuran Beraspal

Kinerja campuran beraspal sangat ditentukan oleh volumetrik campuran dalam keadaan padat yang terdiri dari rongga udara dalam campuran (VIM), rongga udara di antara agregat (VMA), rongga terisi aspal (VFA).

Volumetrik campuran beraspal diilustrasikan sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 2.3



**Gambar 2.3 Volumetrik Campuran Beraspal**  
**Sumber : Manual Campuran Aspal Panas, 2002**

Keterangan :

- VIM* = Volume rongga udara dalam campuran
- VMA* = Volume rongga di antara mineral agregat
- VFA* = Volume rongga terisi aspal
- Vba* = Volume aspal yang diserap agregat
- Vsb* = Volume agregat (berdasarkan berat jenis *bulk*/curah)
- Vb* = Volume aspal
- Vse* = Volume agregat (berdasarkan berat jenis efektif)
- Vmm* = Volume campuran tanpa rongga udara
- Vmb* = Volume *bulk*/curah campuran padat

## 2.10 Pengujian Analisa Campuran AC-WC

Parameter dan formula untuk menganalisa campuran aspal adalah sebagai berikut :

### 2.10.1 Parameter Perhitungan Metode Marshall

#### 1. Analisa Saringan

a. Persen tertahan =  $\frac{\text{Komulatif Berat Tertahan Saringan}}{\text{Berat Awal}} \times 100 \dots\dots\dots (2.7)$

$$b. \quad \text{Persen lolos} = 100\% - \text{Komulatif Persen Tertahan Tiap Saringan} \dots\dots\dots (2.8)$$

## 2. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

$$a. \text{ Berat jenis kering (Bulk) } = \frac{B_k}{B_j - B_a} \dots\dots\dots (2.9)$$

$$b. \text{ Berat jenis jenuh kering Permukaan (SSD) } = \frac{B_j}{B_j - B_a} \dots\dots\dots (2.10)$$

$$c. \text{ Berat jenis semu (Apparent) } = \frac{B_k}{B_k - B_a} \dots\dots\dots (2.11)$$

$$d. \text{ Penyerapan air } = \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100 \% \dots\dots\dots (2.12)$$

Dengan :

$B_k$  = Berat benda uji kering oven (gram)

$B_j$  = Berat benda uji kering permukaan jenuh (gram)

$B_a$  = berat benda uji dalam air (gram)

## 3. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

$$a. \text{ Berat jenis kering (Bulk) } = \frac{B_k}{B_a + B_j - B_t} \dots\dots\dots (2.13)$$

$$b. \text{ Berat jenis jenuh kering Permukaan (SSD) } = \frac{B_j}{B_a + B_j - B_t} \dots\dots\dots (2.14)$$

$$c. \text{ Berat jenis semu (Apparent) } = \frac{B_k}{B_a + B_k - B_t} \dots\dots\dots (2.15)$$

$$d. \text{ Penyerapan air } = \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100 \% \dots\dots\dots (2.16)$$

Dengan :

$B_a$  = Berat piknometer + air (gram)

$B_t$  = Berat piknometer + air + benda uji (gram)

4. Berat Jenis *Bulk*/curah Agregat Campuran ( $G_{sb}$ )

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}} \dots\dots\dots (2.17)$$

Dengan :

$G_{sb}$  = Berat jenis *bulk*/curah agregat campuran

$P_1, P_2, \dots P_n$  = Persentase berat masing-masing fraksi agregat terhadap berat total agregat campuran

$G_1, G_2, \dots G_n$  = Berat jenis bulk dari masing-masing fraksi agregat (fraksi 1-n)

5. Berat Jenis Semu ( $G_{sa}$ )

$$G_{sa} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}} \dots\dots\dots (2.18)$$

Dengan :

$G_{sa}$  = Berat jenis semu agregat campuran

$G_1, G_2, \dots G_n$  = Berat jenis bulk dari masing-masing fraksi agregat (fraksi 1-n)

6. Berat Jenis Efektif Ageregat Campuran ( $G_{se}$ )

$$G_{se} = \frac{100 - P_a}{\frac{100}{G_{mm}} - \frac{P_a}{G_a}} \dots\dots\dots (2.19)$$

Dengan :

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

$G_{mm}$  = Berat jenis maksimum dari beton aspal

$P_a$  = % aspal, persen dari berat total campuran

$G_a$  = Berat jenis aspal

100 merupakan berat beton aspal yang belum dipadatkan (gram)

7. Berat Jenis Maksimum Campuran dengan Perbedaan Kadar Aspal ( $G_{mm}$ )

$$G_{mm} = \frac{100}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_a}{G_a}} \dots\dots\dots (2.20)$$

Dengan :

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

$P_s$  = % agregat, persen dari berat total campuran

8. Berat Jenis Contoh Campuran Padat ( $G_{mb}$ )

$$G_{mb} = \frac{B_k}{B_{ssd} + B_a} \dots\dots\dots (2.21)$$

9. Penyerapan Aspal ( $P_{ab}$ )

$$P_{ab} = 100 \frac{(G_{se} - G_{sb})}{G_{sb} \times G_{se}} G_a \dots\dots\dots (2.22)$$

Dengan :

$P_{ab}$  = Kadar aspal yang terabsorpsi ke dalam pori butir agregat (%)

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

10. Kadar Aspal Efektif yang Menyelimuti Agregat ( $P_{ae}$ )

$$P_{ae} = P_a - \frac{P_{ab}}{100} \times P_s \dots\dots\dots (2.23)$$

Dengan :

$P_{ae}$  = kadar aspal efektif yang menyelimuti butir-butir agregat (%)

11. Kadar Aspal Tengah (P)

$$P = 0.035(\%CA) + 0.045(\%FA) + 0.18(\%filler) + K \dots\dots\dots (2.24)$$

Dengan :

P = Kadar aspal tengah

CA = Persen agregat tertahan saringan no. 8

FA = Persen agregat lolos saringan no. 8 tertahan saringan no. 200

K = Konstanta = 0.5 – 1.0 → untuk Laston

12. Volume Pori dalam Agregat Campuran (VMA), sebagai Persentase dari Berat Beton Aspal Padat

$$VMA = \left( 100 - \frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}} \right) \dots\dots\dots (2.25)$$

Dengan :

VMA = Volume pori antara agregat di dalam beton aspal padat (%)

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

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

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

13. Volume Pori dalam Agregat Campuran (VMA), sebagai persentase dari Berat Agregat.

$$VMA = \left( 100 - \frac{G_{mb}}{G_{sb}} \times \frac{100}{100 + P_a} \times 100\% \right) \dots\dots\dots (2.26)$$

Dengan :

VMA = Volume pori antara agregat di dalam beton aspal padat (%)

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

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

$P_{a1}$  = Kadar agregat, (%) terhadap berat agregat

14. Volume Pori dalam Beton Aspal Padat (VIM)

$$VIM = \left( 100 - \frac{G_{mm} \times G_{mb}}{G_{mm}} \right) \dots\dots\dots (2.27)$$

Dengan :

VIM = Volume pori dalam beton aspal padat (%)

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

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

#### 15. Rumus Fuller (P)

$$P = 100 \left( \frac{d}{D} \right)^{0.45} \dots\dots\dots (2.28)$$

Dengan :

- P = Persen lolos saringan dengan bukaan saringan d mm  
d = Ukuran agregat yang diperiksa (mm)  
D = Ukuran maksimum agregat yang terdapat dalam campuran (mm)

#### 16. Volume Pori Antar Butiran Agregat yang Terisi Aspal (VFA)

$$VFA = \frac{100(VMA - VIM)}{VMA} \dots\dots\dots (2.29)$$

Dengan :

- VFA = Volume pori antar butir agregat yang terisi aspal, % dari VMA  
VMA = Volume pori antara agregat di dalam beton aspal padat, % dari volume *bulk* beton aspal padat  
VIM = Volume pori dalam beton aspal padat, % dari volume *bulk* beton aspal padat

#### 17. Keausan Agregat Kasar

$$\text{Keausan} = \frac{a - b}{a} \times 100\% \dots\dots\dots (2.30)$$

Dengan :

- a = Berat benda uji semula (gram)  
b = Berat benda uji tertahan saringan no. 12 (gram)

### 2.10.2 Hasil Bagi Marshall

Hasil bagi marshall / marshall Quetient (MQ) merupakan hasil pembagian dari stabilitas dan kelelahan. Sifat Marshall tersebut dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut.

$$MQ = \frac{MS}{MF} \dots\dots\dots (2.31)$$

Keterangan :

MQ :Marshall Quetient, (kg/mm)

MS : Marshall Stability, (kg/mm)

MF : Flow Marshall, (mm)

## 2.11 Standar Rujukan

### a. Pemeriksaan Material

SNI-03-1968-1990, Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar  
(ASTHO T-27)

SNI-06-2432-1991, Daktalitas Bahan dan Aspal (ASTHO T-51)

SNI-03-2417-1991, Keausan Agregat dengan Mesin Los Angeles  
(ASTHO T-96)

SNI-03-2439-1991, Kelekatan Agregat Terhadap Aspal  
(ASTHO T-182-1970)

SNI-03-1969-1990, Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat  
Kasar

SNI-03-1970-1990, Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat  
Halus

SNI-06-2456-1991, Penetrasi Bahan – Bahan Aspal (ASTHO T- 46)

SNI-06-2434-1991, Pengujian Titik Lembek Aspal

SNI-06-2435-1991, Pengujian Titik Nyala Aspal

SNI-06-2441-1991, Pengujian Berat Jenis Aspal Padat

### b. Pengujian Perhitungan Campuran

SNI-06-2489-1991, Pengujian Campuran Beraspal dengan Alat *Marshall*  
(ASTHO T-245-78)

SNI M-58-2990, Pengujian durabilitas dengan *Marshall*  
(ASTHOT 242-78)

ASTHO T-166-88 *Bulk Specific Grafity Of Compacted Bituminous  
Mixes.*