

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Umum**

Di Indonesia, campuran beraspal panas untuk perkerasan lentur di rancang menggunakan metode Marshall. Perencanaan campuran yang dilakukan dalam penelitian ini dengan menggunakan metode Bina Marga, yang merupakan adaptasi langsung dari campuran metode *Asphalt Institute* untuk penggunaan di Indonesia, yang mencakup perencanaan campuran panas dengan gradasi agregat menerus yang disebut sebagai Lapisan Aspal Beton (LASTON). Pada penelitian ini, peneliti mengambil pokok pembahasan mengenai *Asphalt Concrete - Wearing Course (AC-WC)*.

#### **2.2 Agregat**

Agregat (*aggregate*) secara umum diartikan sebagai formasi kulit bumi yang keras dan solid. ASTM (1974) menerangkan bahwa agregat sebagai suatu bahan yang berisi mineral padat, berupa massa berukuran besar maupun berupa fragmen-fragmen (Sukirman, 2016).

Agregat adalah elemen utama dari perkerasan jalan yang mempunyai kandungan 90-95% berdasarkan acuan berat atau 75-85% berdasarkan acuan volume komposisi perkerasan (Saodang, 2005). Sebagai penstabil mekanis, agregat harus mempunyai suatu kekuatan dan kekerasan untuk mengantisipasi terjadinya kerusakan akibat beban lalu lintas. Dengan demikian keawetan, daya dukung dan mutu perkerasan jalan ditentukan oleh sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain.

##### **2.2.1 Jenis Agregat**

Berdasarkan ukuran butirnya agregat dapat dibedakan menjadi agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi (*filler*). Batasan dari masing-masing agregat ini seringkali berbeda, sesuai institusi yang menentukannya.

ASTM dan Depkimpraswil dalam Spesifikasi Teknis Campuran Panas, 2010, membedakan agregat menjadi :

### 1. Agregat Kasar

Agregat kasar adalah agregat dengan ukuran butir lebih besar dari saringan No.4 (4,75 mm) dan lebih kecil dari ayakan 1½ inci.

Tabel 2.1 Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian		Metode Pengujian	Nilai
Kekekalan Bentuk Agregat Terhadap Larutan		Natrium sulfat	Maks.12%
		Magnesium sulfat	Maks. 18%
Abrasi dengan Mesin Los Angeles	Campuran AC Modifikasi dan SMA	100 putaran	Maks. 6%
		500 putaran	
	Semua jenis campuran beraspal bergradasi lainnya	100 putaran	Maks. 30%
		500 putaran	
Kelekatan Agregat Terhadap Aspal		SNI 2439:2011	Min. 95%
Butir Pecah pada Agregat Kasar		SMA	100/90 <sup>*)</sup>
		Lainnya	95/90 <sup>**)</sup>
Partikel Pipih dan Lonjong		SMA	Maks. 5%
		Lainnya	Perbandingan 1:5 Maks. 10%
Material Lolos Ayakan No.200		SNI ASTM C117:2012	Maks.1%

(Sumber : Spesifikasi Umum Divisi VI Seksi 6.3, Bina Marga, 2018)

### 2. Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat dengan ukuran butir lebih halus dari saringan No.4 (4,75 mm) dan maksimum yang lolos ayakan No.200 (0,075 mm) adalah 10%.

Tabel 2.2 Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Metode Pengujian	Nilai
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 50%
Uji Kadar Rongga Tanpa Pemasatan	SNI 03-6877-2002	Min. 45
Gumpalan Lempung dan Butir-Butir Mudah Pecah dalam Agregat	SNI 03-4141-1996	Maks 1%
Material lolos Ayakan No.200	SNI ASTM C117:2012	Maks.10%

(Sumber : Spesifikasi Umum Divisi VI Seksi 6.3, Bina Marga, 2018)

### 3. Bahan Pengisi (*Filler*)

Bahan pengisi (*filler*) adalah bagian dari agregat halus yang lolos saringan No.200 (0,075 mm) minimum 75%.

## 2.2.2 Sifat Agregat Sebagai Material Perkerasan Jalan

Sifat agregat merupakan salah satu faktor penentu kemampuan perkerasan jalan memikul beban lalu lintas dan daya tahan terhadap cuaca (Sukirman, 2016). Oleh karena itu, perlu pemeriksaan yang teliti sebelum diputuskan apakah suatu agregat dapat digunakan sebagai material perkerasan jalan. Sifat agregat yang menentukan kualitasnya sebagai material perkerasan jalan adalah gradasi, kebersihan, kekerasan dan ketahanan agregat, bentuk butir, tekstur permukaan, porositas, kemampuan untuk menyerap air, berat jenis, dan daya ikat aspal dengan agregat.

### 1. Gradasi Agregat

Gradasi adalah susunan butir agregat sesuai ukurannya, merupakan sifat yang sangat luas pengaruhnya terhadap kualitas perkerasan secara keseluruhan. Ukuran butir agregat diperoleh melalui pengujian analisis ayakan. Satu set ayakan umumnya terdiri dari ukuran 4 inci (101,6 mm), 3½ inci (88,9 mm), 3 inci (76,2 mm), 2½ inci (63,5 mm), 2 inci (50,8 mm), 1½ inci (38,1 mm), 1 inci (25,4 mm), ¾ inci (19,0 mm), ½ inci (12,7 mm), ⅜ inci (9,5 mm), No.4 (4,75 mm), No.8 (2,36 mm), No.16 (1,18 mm), No.30 (0,60 mm), No.50 (0,30 mm), No.100 (0,15 mm), dan No.200 (0,075 mm).

Gradasi agregat diperoleh dari hasil pengujian dan analisis dengan menggunakan satu set ayakan. Ayakan berukuran paling besar diletakkan teratas dan yang paling halus (No.200) diletakkan terbawah sebelum pan.

Gradasi agregat menentukan besarnya rongga yang mungkin terjadi dalam agregat campuran. Agregat campuran yang terdiri dari agregat berukuran sama akan berongga banyak, karena tak terdapat agregat berukuran lebih kecil yang dapat mengisi rongga yang terjadi di antara butir yang lebih besar. Sebaliknya, jika campuran agregat terdistribusi dari agregat berukuran besar sampai kecil secara merata, maka rongga yang terjadi lebih sedikit. Hal ini disebabkan karena rongga yang terbentuk oleh susunan butir agregat berukuran besar, akan diisi oleh butir agregat berukuran lebih kecil.

Distribusi butir-butir agregat dengan ukuran tertentu yang dimiliki oleh suatu campuran menentukan jenis gradasi agregat. Gradasi agregat dapat dikelompokkan ke dalam agregat bergradasi baik dan agregat bergradasi buruk.

Berdasarkan ukuran butir agregat yang dominan menyusun campuran agregat, maka agregat bergradasi baik dapat dibedakan atas :

- a. Agregat bergradasi kasar, adalah agregat bergradasi baik yang mempunyai susunan ukuran menerus dari kasar sampai dengan halus, tetapi dominan berukuran agregat kasar.
- b. Agregat bergradasi halus, adalah agregat bergradasi baik yang mempunyai susunan ukuran menerus dari kasar sampai dengan halus, tetapi dominan berukuran agregat halus.

Agregat bergradasi buruk tidak memenuhi persyaratan gradasi baik. Terdapat berbagai macam nama gradasi agregat yang dapat dikelompokkan ke dalam agregat bergradasi buruk, seperti :

- a. Agregat bergradasi seragam, adalah agregat yang hanya terdiri dari butir-butir agregat berukuran sama atau hamper sama. Campuran agregat ini mempunyai rongga antar butir yang cukup besar, sehingga sering dinamakan juga agregat bergradasi terbuka.

- b. Agregat bergradasi terbuka, adalah agregat yang distribusi ukuran butirnya sedemikian rupa sehingga rongga-rongganya tidak terisi dengan baik.
- c. Agregat bergradasi senjang adalah agregat yang distribusi ukuran butirnya tidak menerus, atau ada bagian ukuran yang tidak ada, jika ada hanya sedikit sekali.

## 2. Ukuran Maksimum Agregat

Ukuran maksimum butir agregat dapat dinyatakan dengan menggunakan :

- a. Ukuran maksimum agregat, yaitu menunjukkan ukuran ayakan terkecil dimana agregat yang lolos ayakan tersebut sebanyak 100%.
- b. Ukuran nominal maksimum agregat, menunjukkan ukuran ayakan terbesar dimana agregat yang tertahan ayakan tersebut sebanyak tidak lebih dari 10% dan atau ukuran maksimum agregat adalah satu ayakan yang lebih kasar dari ukuran nominal maksimum.

## 3. Kebersihan Agregat

Kebersihan agregat (*cleanliness*) ditentukan dari banyaknya butir-butir halus yang lolos ayakan No.200, seperti adanya lempung, lanau, ataupun adanya tumbuh-tumbuhan pada campuran agregat. Agregat yang banyak mengandung material yang lolos ayakan No.200, jika dipergunakan sebagai bahan campuran beton aspal, akan menghasilkan beton aspal berkualitas rendah. Hal ini disebabkan material halus membungkus partikel agregat yang lebih kasar, sehingga ikatan antara agregat dan bahan pengikat yaitu aspal akan berkurang.

## 4. Daya Tahan Agregat

Daya tahan agregat merupakan ketahanan agregat terhadap adanya penurunan mutu akibat proses mekanis dan kimiawi. Agregat dapat mengalami degradasi, yaitu perubahan gradasi akibat pecahnya butir-butir agregat. Kehancuran agregat dapat disebabkan oleh proses mekanis seperti gaya-gaya yang terjadi selama proses pelaksanaan perkerasan jalan (penimbunan, penghamparan, pemadatan), pelayanan terhadap beban lalu

lintas, dan proses kimiawi seperti pengaruh kelembaban, kepanasan, dan perubahan suhu sepanjang hari.

Daya tahan agregat terhadap beban mekanis diperiksa dengan melakukan pengujian keausan agregat dengan menggunakan alat abrasi Los Angeles sesuai dengan SNI 2417:2008. Gaya mekanis pada pemeriksaan dengan alat abrasi Los Angeles diperoleh dari bola-bola baja yang dimasukkan Bersama dengan agregat yang hendak diuji.

Daya tahan terhadap proses kimiawi diuji melalui uji sifat kekekalan bentuk batu dengan menggunakan larutan natrium sulfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) atau magnesium sulfat ( $\text{MgSO}_4$ ), sesuai dengan SNI 3407:2008.

## 5. Bentuk dan Tekstur Agregat

### a. Bentuk butir agregat dikelompokkan sebagai berikut :

- Agregat berbentuk bulat (*rounded*), agregat yang ditemui di sungai biasanya telah mengalami erosi oleh air sehingga berbentuk bulat dan licin. Bidang kontak antar agregat berbentuk bulat sangat sempit, hanya berupa titik singgung , sehingga menghasilkan penguncian antar agregat tidak baik, dan menghasilkan kondisi kepadatan lapisan perkerasan kurang baik.
- Agregat berbentuk kubus (*cubical*), pada umumnya merupakan hasil pemecahan batu masif, atau hasil pemecahan mesin pemecah batu. Bidang kontak agregat ini luas, sehingga mempunyai daya saling mengunci yang baik. Kestabilan yang diperoleh lebih baik dan lebih tahan terhadap deformasi. Agregat ini merupakan argegat terbaik untuk dipergunakan sebagai material perkerasan jalan.
- Agregat berbentuk lonjong (*elongated*), dapat ditemui di sungai atau bekas endapan sungai. Agregat dikatakan lonjong jika ukuran terpanjangnya lebih besar dari 1,8 kali diameter rata-rata. Indeks kelonjongan (*elongated index*) adalah persentase berat agregat lonjong terhadap berat total. Sifat campuran agregat berbentuk lonjong ini hampir sama dengan agregat berbentuk bulat.

- Agregat berbentuk pipih (*flaky*), dapat merupakan hasil produksi dari mesin pencacah batu, dan biasanya agregat ini memang cenderung pecah dengan bentuk pipih. Agregat pipih yaitu agregat yang ketebalannya lebih tipis dari 0,6 kali diameter rata-rata. Indeks kepipihan (*flakiness index*) adalah berat total agregat yang lolos slot dibagi berat total agregat yang tertahan slot pada ukuran nominal tertentu.
  - Agregat berbentuk tak beraturan (*irregular*), adalah bentuk agregat yang tak mengikuti dalam satu bentuk diatas.
- b. Tekstur permukaan agregat dibedakan sebagai berikut :
- Licin, agregat berbentuk bulat biasanya mempunyai permukaan yang licin dan seringkali dijumpai di sungai. Permukaan agregat licin menghasilkan daya penguncian antar agregat rendah dan mempunyai tingkat kestabilan yang rendah.
  - Kasar, permukaan agregat kasar mempunyai gaya gesek yang baik, ikatan antar butir agregat menjadi kuat, sehingga lebih mampu menahan deformasi akibat beban lalu lintas. Agregat berbentuk kubus biasanya mempunyai tekstur permukaan yang kasar, sehingga akan menghasilkan stabilitas lapisan yang baik.
  - Berpori, agregat berpori (*porous*) ada yang berpori banyak, biasanya mempunyai tingkat kekerasan rendah, sehingga mudah pecah, dan terjadi degradasi. Pori sedikit pada agregat berguna untuk menyerap aspal, sehingga terjadi ikatan yang baik antara aspal dan agregat. Banyaknya pori agregat diuji secara tidak langsung melalui uji kemampuan penyerapan air oleh agregat. Cara uji yang digunakan untuk agregat kasar sesuai SNI 1969:2008 dan agregat halus SNI 1970:2008. Pengujian penyerapan air ini sekaligus dilakukan dengan pengujian berat jenis agregat.

## 6. Daya Lekat Aspal Terhadap Agregat

Daya lekat aspal terhadap agregat dipengaruhi oleh sifat agregat terhadap air. Granit dan agregat yang mengandung silika merupakan agregat yang bersifat *hydrophilic*, yaitu agregat yang mudah diresapi air. Hal ini mengakibatkan agregat tersebut tak mudah dilekati aspal, sehingga ikatan aspal dengan agregat mudah lepas. Sebaliknya agregat seperti dorit dan andesit merupakan agregat *hydrophobic* yaitu agregat yang tidak mudah terikat dengan air, tetapi mudah terikat dengan aspal. Pengujian kelekatan aspal terhadap agregat dilakukan berdasarkan SNI 2439:2011 atau manual AASHTO T182-84 tentang cara uji penyelimutan dan pengelupasan pada campuran agregat dengan aspal (*stripping test*).

## 7. Berat Jenis Agregat

Dalam rancangan campuran dibutuhkan parameter penunjuk berat, yaitu berat jenis agregat. Berat jenis agregat adalah perbandingan antara berat dari satuan volume agregat terhadap berat air dengan volume yang sama pada temperatur yang ditentukan.

Berdasarkan jenis volume yang digunakan sebagai dasar perhitungan berat jenis, maka terdapat empat jenis berat jenis (*specific gravity*) yaitu :

- a. Berat jenis bulk (*bulk specific gravity*), disebut juga berat jenis curah kering adalah berat jenis dengan memperhitungkan berat agregat dalam keadaan kering dan seluruh volume agregat.
- b. Berat jenis jenuh kering permukaan (*saturated surface dry specific gravity*), disebut juga berat jenis curah adalah berat jenis dengan memperhitungkan berat agregat dalam keadaan jenuh kering permukaan, jadi merupakan berat agregat kering + berat air yang dapat meresap ke dalam pori agregat, dan seluruh volume agregat.
- c. Berat jenis semu (*apparent specific gravity*), adalah berat jenis dengan memperhitungkan berat agregat dalam keadaan kering dan volume agregat yang tak dapat diresapi oleh air.

- d. Berat jenis efektif (*effective specific gravity*), adalah berat jenis dengan memperhitungkan berat agregat dalam keadaan kering, jadi merupakan berat agregat kering dan volume agregat yang tak dapat diresapi aspal.

### 2.3 Aspal

Bitumen adalah zat perekat material (*viscous cementitious*) berwarna hitam atau gelap, berbentuk padat atau semi padat, yang dapat diperoleh di alam ataupun merupakan residu dari pengilangan minyak bumi, tar adalah hasil kondensat dalam destilasi destruktif dari batubara, minyak bumi, kayu, atau mineral organik lainnya, sedangkan *pitch* diperoleh sebagai residu dari destilasi fraksional tar (Saodang, 2005). Tar dan *pitch* tidak diperoleh di alam, namun merupakan produk kimiawi. Dari ketiga jenis bitumen tersebut, hanya aspal yang umum digunakan untuk bahan pembentuk perkerasan jalan, sehingga seringkali bitumen disebut sebagai aspal.

Aspal bersifat termoplastis yaitu mencair jika dipanaskan dan kembali membeku jika temperatur turun. Sifat ini digunakan dalam proses konstruksi perkerasan jalan. Banyaknya aspal dalam campuran perkerasan berkisar antara 4 – 10% berdasarkan berat campuran, atau 10 – 15% berdasarkan volume campuran.

#### 2.3.1 Jenis Aspal

Berdasarkan tempat diperolehnya, aspal dibedakan atas :

1. Deposit Alam

Deposit alam yaitu aspal yang ditemui di alam, dapat berbentuk batuan ataupun aspal alam. Batuan aspal adalah batuan yang mengandung aspal di dalamnya, dapat digunakan sebagaimana adanya ataupun diolah terlebih dahulu.

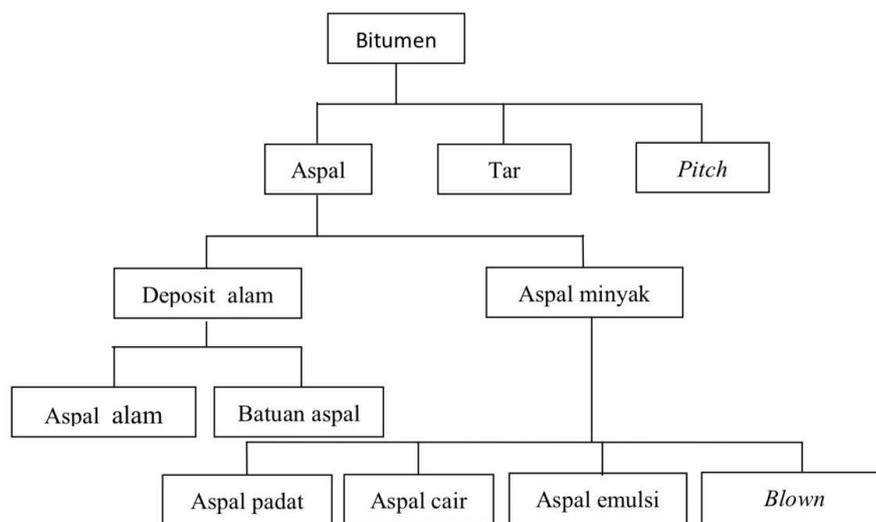
Indonesia memiliki batuan aspal di Pulau Buton, terkenal dengan nama Asbuton (Aspal Batu Buton). Asbuton merupakan campuran antara bitumen dengan bahan mineral lainnya dalam bentuk batuan. Karena asbuton merupakan material yang ditemukan begitu saja di alam, maka kadar bitumen yang dikandungnya sangat bervariasi dari rendah sampai tinggi. Untuk mengatasi hal ini, maka asbuton mulai diproduksi dalam berbagai

bentuk di pabrik pengolahan asbuton. Produk asbuton dapat dibagi menjadi dua kelompok yaitu :

- a. Produk asbuton yang masih mengandung material *filler*, seperti asbuton kasar, asbuton halus, asbuton mikro, dan *butonite mastic asphalt*.
- b. Produk asbuton yang telah dimurnikan menjadi aspal murni melalui proses ekstraksi atau proses kimiawi.

## 2. Aspal Minyak

Aspal minyak adalah aspal yang merupakan residu destilasi minyak bumi. Setiap minyak bumi dapat menghasilkan residu jenis *asphaltic base crude oil* yang banyak mengandung aspal, *parafin base crude oil* yang banyak mengandung parafin atau *mixed base crude oil* yang mengandung campuran antara parafin dan aspal. Untuk perkerasan jalan biasanya digunakan aspal minyak jenis *asphaltic base crude oil*.



Gambar 2.1 Pengelompokkan berbagai jenis bitumen

Bensin (*gasoline*), minyak tanah (*kerosene*), dan solar (minyak diesel) merupakan hasil destilasi pada temperatur yang berbeda-beda, sedangkan aspal merupakan residunya. Residu aspal berbentuk padat atau semi padat, tetapi melalui pengolahan hasil residu ini dapat pula berbentuk aspal cair, aspal emulsi, aspal hembus (*blown asphalt*) atau pada temperatur ruang.

a. Aspal padat

Aspal padat adalah aspal yang berbentuk padat pada suhu ruang, dikenal dengan nama semen aspal (*asphalt cement*). Di Eropa disebut bitumen, sedangkan di Amerika dikenal dengan nama *asphalt cement*.

Semen aspal harus dipanaskan terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai bahan pengikat agregat. Aspal padat merupakan bagian utama dari residu minyak bumi dan melalui proses lanjutan dapat diperoleh jenis aspal minyak yang lain.

b. Aspal cair (*cutback asphalt*)

Aspal cair yaitu aspal yang berbentuk cair pada suhu ruang. Aspal cair merupakan semen aspal yang dicairkan dengan bahan pencair dari hasil penyulingan minyak bumi seperti minyak tanah, bensin, atau solar. Bahan pencair membedakan aspal cair menjadi :

- *Rapid curing cut back asphalt* (RC), yaitu aspal cair dengan bahan pencair bensin. RC merupakan aspal cair yang paling menguap.
- *Medium curing cut back asphalt* (MC), yaitu aspal cair dengan bahan pencair minyak tanah (*kerosene*).
- *Slow curing cut back asphalt* (SC), yaitu aspal cair dengan bahan pencair solar (minyak disel). SC merupakan aspal cair yang paling lambat menguap.

c. Aspal emulsi (*emulsified asphalt*)

Aspal emulsi adalah suatu campuran aspal dengan air dan bahan pengemulsi, yang dilakukan di pabrik pencampur. Aspal emulsi ini lebih cair dari aspal cair. Di dalam aspal emulsi, butir-butir aspal larut dalam air. Untuk menghindari butiran aspal saling menarik membentuk butir-butir yang lebih besar, maka butiran tersebut diberikan muatan listrik. Berdasarkan muatan listrik yang dikandungnya, aspal emulsi dibedakan atas :

- Aspal kationik disebut juga aspal emulsi asam, merupakan aspal emulsi yang butiran aspalnya bermuatan arus listrik positif.

- Aspal anionik disebut juga aspal emulsi alkali, merupakan aspal emulsi yang butiran aspalnya bermuatan arus listrik negatif.
- Aspal nonionik merupakan aspal emulsi yang tidak mengalami ionisasi, berarti tidak menghantarkan listrik.

Berdasarkan kecepatan mengerasnya, aspal emulsi dapat dibedakan atas :

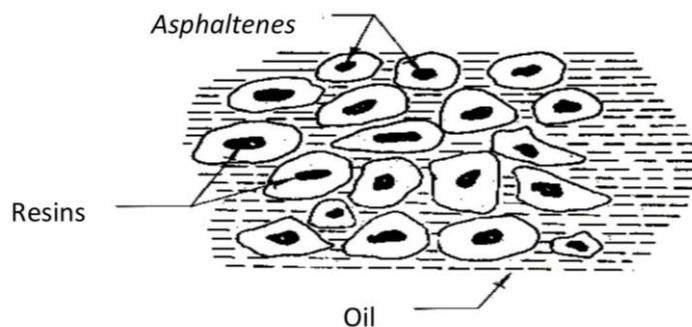
- *Rapid Setting* (RS)
- *Medium Setting* (MS)
- *Slow Setting* (SS)

### 2.3.2 Sifat Kimiawi Aspal

Aspal terdiri atas senyawa hidrokarbon, nitrogen, dan logam lain, sesuai jenis minyak bumi dan proses pengolahannya (Sukirman, 2016). Secara garis besar unsur kimiawi yang terdapat dalam aspal terdiri dari :

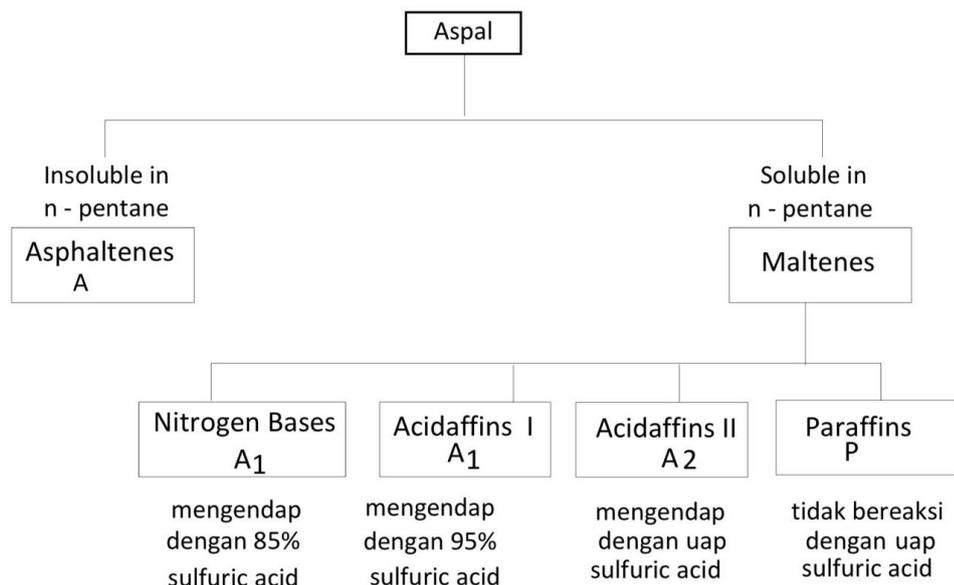
- |                |          |
|----------------|----------|
| a. Carbon      | 80 – 87% |
| b. Hidrogen    | 9 – 11%  |
| c. Oksigen     | 2 – 8%   |
| d. Nitrogen    | 0 – 1%   |
| e. Sulfur      | 0,5 – 7% |
| f. Logam berat | 0 – 0,5% |

Secara garis besar struktur molekul aspal yang digambarkan seperti pada Gambar 2.2 terdiri dari *asphaltenes*, *resins*, dan *oils*.



Gambar 2.2 Komposisi dari aspal

Saat ini telah banyak metode yang digunakan untuk meneliti komponen-komponen pembentuk aspal. Komponen fraksional pembentuk aspal dikelompokkan berdasarkan karakteristik reaksi yang sama. Metode Rostler menentukan komponen fraksional aspal melalui daya larut aspal di dalam asam belerang (*sulfuric acid*). Terdapat 5 komponen fraksional aspal berdasarkan daya reaksi kimiawinya di dalam *sulfuric acid*. Gambar 2.3 menggambarkan secara skematis komponen fraksional aspal, sesuai metode Rostler.



Gambar 2.3 Komponen aspal berdasarkan metode Rostler

### 2.3.3 Sifat Semen Aspal Sebagai Bahan Perkerasan Jalan

Semen aspal sebagai material termoplastis dan viscoelastis, pada temperatur tertentu memiliki sifat adhesi dan kohesi yang sangat kuat sehingga memberikan daya ikat yang kuat terhadap agregat dan memberikan lapisan kedap air. Namun demikian, aspal merupakan residu destilasi minyak bumi mempunyai sifat bervariasi, sehingga perlu diuji terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai material perkerasan jalan (Saodang, 2005).

Sesuai tujuannya, pengujian semen aspal dikelompokkan menjadi :

1. Pengujian untuk menentukan komposisi aspal
2. Pengujian untuk mendapatkan data yang berguna bagi keselamatan bekerja
3. Pengujian konsistensi semen aspal
4. Pengujian sifat adhesi dan kohesi aspal
5. Pengujian sifat durabilitas aspal
6. Pengujian daya ikat aspal
7. Pengujian berat jenis semen aspal yang dibutuhkan untuk merencanakan campuran beton aspal.

Tabel 2.3 Pengujian dan Ketentuan untuk Aspal Penetrasi 60/70

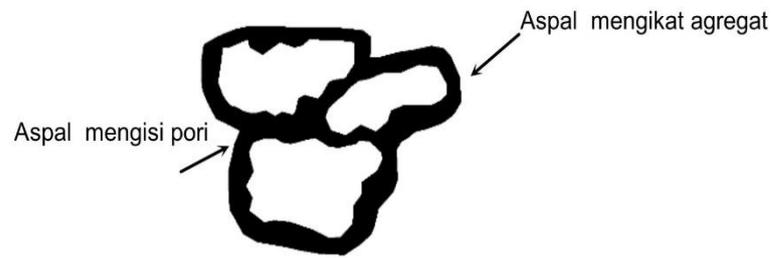
No	Pengujian	Metode Pengujian	Nilai
1	Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI 2456:2011	60 – 70
2	Viskositas Kinematis 135°C (cSt)	ASTM D2170-10	≥ 300
3	Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥ 48
4	Titik Nyala (°C)	SNI 2433:2011	≥ 232
5	Daktalitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100
6	Kelarutan dalam <i>Trichloroethylene</i> (%)	AASHTO T44-14	≥ 99
7	Berat jenis	SNI 2441:2011	≥ 1,0
8	Kadar Parafin Lilin (%)	SNI 03-3639-2002	≤ 2

(Sumber : Spesifikasi Umum Divisi VI Seksi 6.3, Bina Marga, 2018)

#### 2.3.4 Fungsi Aspal Sebagai Bahan Perkerasan Jalan

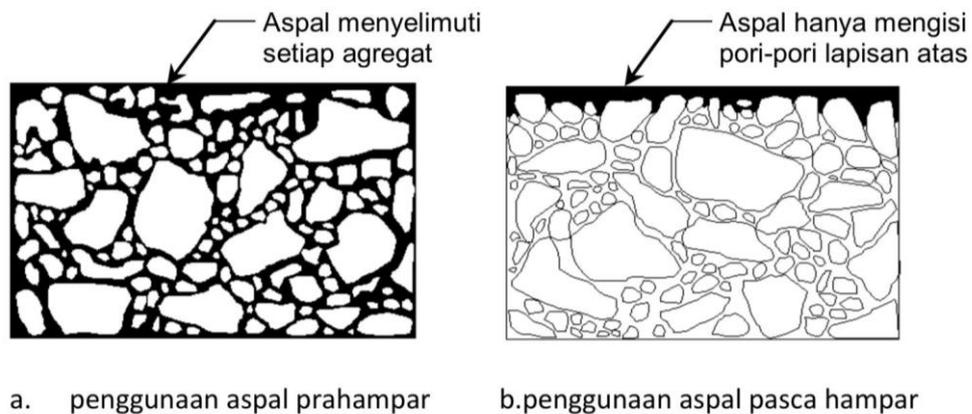
Aspal yang memiliki sifat adhesi dan kohesi digunakan sebagai material perkerasan jalan yang berfungsi sebagai :

1. Bahan pengikat, memberikan ikatan yang kuat antara aspal dan agregat dan aspal itu sendiri.
2. Bahan pengisi, mengisi rongga antara butir – butir agregat dan pori – pori yang ada dari agregat itu sendiri.
3. Bahan pengikat antara lapisan perkerasan lama dengan lapisan perkerasan baru.



Gambar 2.4 Fungsi aspal pada setiap butir agregat

Penggunaan aspal pada perkerasan jalan dapat dicampurkan pada agregat sebelum dihamparkan (prahampar), seperti lapisan beton aspal atau disiramkan pada lapisan agregat yang telah dipadatkan dan ditutupi oleh agregat-agregat yang lebih halus (pascahampar), seperti perkerasan penetrasi makadam atau pelaburan.



a. penggunaan aspal prahampar

b.penggunaan aspal pasca hampar

Gambar 2.5 Sketsa perbedaan fungsi aspal pada lapisan perkerasan

### 2.3.5 Lapis Aspal Beton (Laston)

Lapis aspal beton (Laston) merupakan jenis tertinggi dari perkerasan bitumen bergradasi menerus dan cocok untuk jalan yang banyak dilalui kendaraan berat. Aspal beton biasanya dicampur dan dihamparkan pada temperature tinggi dan membutuhkan bahan pengikat aspal semen. Agregat minimal yang berkualitas tinggi dan menurut proporsi di dalam batasan yang ketat. Spesifikasi untuk pencampuran, penghamparan kepadatan akhir dan penyelesaian akhir permukaan memerlukan pengawasan yang ketat atas seluruh tahap konstruksi

Menurut Spesifikasi Umum Bina Marga Divisi VI tahun 2018, sesuai fungsinya laston dibagi menjadi:

1. Laston sebagai lapis aus

Laston sebagai lapis aus atau dengan kata lain *Asphalt Concrete - Wearing Course* (AC-WC), adalah lapis beton aspal untuk permukaan jalan, biasanya tidak terlalu tebal, sekitar 5 cm sebagai lapis aus sekaligus sebagai lapis penutup, sudah seharusnya bersifat lentur untuk dapat menerima gerakan lapis dibawahnya tanpa mengalami retak. Ditinjau dari penggunaan material aspal, maka aspal yang digunakan harus dari jenis yang tahan panas (panas permukaan jalan bisa sampai 70°C), karena terletak pada posisi paling atas agar tidak mudah melunak (*bleeding*) dan *bulging* (berubah bentuk, jembul, bergelombang, terlihat secara visual pada marka jalan yang bengkok), tidak mudah timbul retak yang dapat menyebabkan bocor air, dan tidak mudah terjadi lepas butir (kehilangan daya lengket).

2. Laston sebagai lapis antara/pengikat

Laston sebagai lapis antara/pengikat atau dikenal dengan nama lain *Asphalt Concrete - Binder Course* (AC-BC), adalah beton aspal sebagai pondasi dan pengikat (*binder*), lapis beton aspal yang lebih kaya aspal (sekitar 5 – 6%) dibandingkan dengan lapis dibawahnya (misalnya ATB = *Asphalt Treated Base*), yang kadar aspalnya hanya sekitar 4,5% atau lapis fondasi batu pecah tanpa aspal = *crushed stone base*). Berfungsi secara struktural sebagai bagian dari lapis perkerasan jalan. Umumnya diminta bersifat tahan beban (punya *beam effect*, nilai stabilitas Marshall tinggi), mampu menyebarkan beban roda kendaraan ke lapis di bawahnya, dan diusahakan agar kedap air untuk mempersulit air permukaan yang tembus lewat retak-retak atau lubang permukaan yang tidak segera ditambal, hingga air tidak mudah dapat mencapai tanah dasar.

### 3. Laston sebagai lapis pondasi

Laston sebagai lapis pondasi atau dikenal dengan kata lain *Asphalt Concrete – Base (AC-Base)*, adalah lapis beton aspal yang berfungsi sebagai pondasi atas (*base course*), kehadiran aspal di sini terutama sebagai pelicin pada waktu pemadatan (biasanya sekitar 4 – 5%), sehingga pemadatan mudah tercapai, tidak perlu terlalu kedap air, dan tidak ada kekhawatiran terjadinya *overcompaction*. Fungsi lapis pondasi terutama adalah untuk menahan gaya lintang akibat beban roda kendaraan.

Tabel 2.4 Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Laston (AC)

Sifat-Sifat Campuran		Laston		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Lapis Pondasi
Jumlah tumbukan per bidang		75	75	112
Rasio partikel lolos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif	Min.	0,6	0,6	0,6
	Maks.	1,6	1,6	1,6
Rongga dalam campuran (%)	Min.	3,0	3,0	3,0
	Maks.	5,0	5,0	5,0
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Min.	15	14	13
Rongga Terisi Aspal (%)	Min.	65	65	65
Stabilitas Marshall (kg)	Min.	800	800	1800
Pelelehan (mm)	Min.	2	2	3
	Maks.	4	4	6
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C	Min.	90	90	90

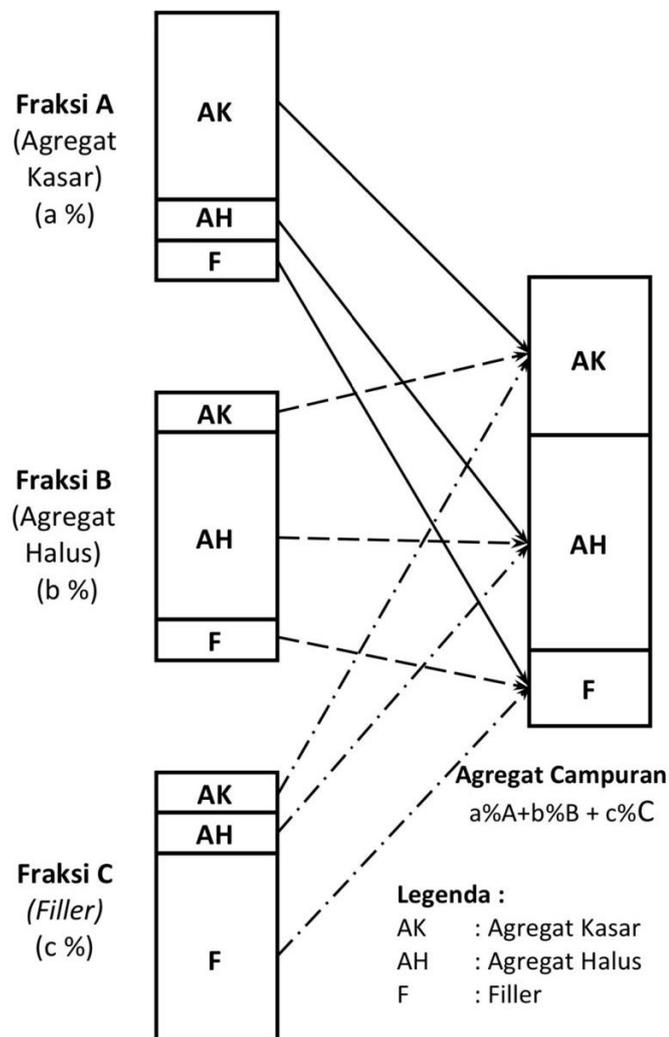
(Sumber : Spesifikasi Umum Divisi VI Seksi 6.3, Bina Marga, 2018)

## 2.4 Pencampuran Agregat

Gradasi agregat merupakan salah satu sifat yang sangat menentukan kinerja struktur perkerasan jalan. Gradasi setiap jenis lapisan perkerasan dicantumkan dalam spesifikasi perkerasan jalan. Guna dapat memperoleh agregat yang memiliki gradasi sesuai dengan yang ditentukan dalam spesifikasi pekerjaan maka diperlukan pencampuran dari beberapa fraksi agregat.

Berdasarkan ukuran dominan dari setiap sumber agregat, agregat dibedakan menjadi fraksi agregat kasar, fraksi agregat halus, dan fraksi abu batu. Jika terdapat lebih dari tiga jenis fraksi agregat yang hendak dicampur, maka ditambahkan dengan fraksi agregat sedang.

Agregat campuran adalah agregat yang diperoleh dari mencampur secara proporsional fraksi agregat A, fraksi agregat B, dan fraksi agregat C, sehingga diperoleh gradasi agregat sesuai spesifikasi pekerjaan (Sukirman, 2016).



Gambar 2.6 Skema pencampuran agregat

Gambar diatas menunjukkan bahwa agregat campuran adalah hasil pencampuran dari a% fraksi agregat kasar dengan b% fraksi agregat halus dan c% fraksi abu batu, dengan  $a + b + c = 100\%$ , sehingga memiliki gradasi baru yang tidak sama dengan gradasi masing-masing fraksi pembentuk agregat campuran.

Tabel 2.5 Spesifikasi Gradasi Agregat Gabungan untuk Campuran Laston

Ukuran Saringan		% Berat yang Lolos terhadap Total Agregat		
ASTM	(mm)	AC – WC	AC - BC	AC - Base
1 ½"	37,5			100
1"	25		100	90 – 100
¾"	19	100	90 – 100	76 – 90
½"	12,5	90 – 100	75 – 90	60 – 78
⅜"	9,5	77 – 90	66 – 82	52 – 71
No.4	4,75	53 – 69	46 – 64	35 – 54
No.8	2,36	33 – 53	30 – 49	23 – 41
No.16	1,18	21 – 40	18 – 38	13 – 30
No.30	0,60	14 – 30	12 – 28	10 – 22
No.50	0,30	9 – 22	7 – 20	6 – 15
No.100	0,15	6 – 15	5 – 13	4 – 10
No.200	0,075	4 – 9	4 – 8	3 – 7

(Sumber : Spesifikasi Umum Divisi VI Seksi 6.3, Bina Marga, 2018)

## 2.5 Serbuk Besi

Serbuk besi adalah bagian dari hasil sisa potongan atau sisa pembubutan besi tuang yang merupakan hasil di pemakaian industri (Daryus, 2008). Serbuk besi berasal dari hasil sisa bubutan atau potongan besi. Ada tiga macam jenis besi yang banyak digunakan yaitu besi kelabu (*grey cast iron*), besi ulet atau nodular (*nodular cast iron*) dan besi putih (*white cast iron*). Ketiganya memiliki komposisi yang hampir sama (Bahri & Irawan, 2010).



Gambar 2.7 Serbuk besi

Serbuk besi hasil sisa pembubutan biasanya dibuang dan tidak dimanfaatkan, akibatnya terjadi pencemaran lingkungan. Untuk itu perlu upaya pemanfaatan terhadap limbah serbuk besi, salah satu upaya yang ditemukan untuk pemanfaatan tersebut adalah menjadikan serbuk besi sebagai pengganti agregat halus untuk campuran aspal. Agar mencapai hal tersebut perlu dilakukan beberapa pengujian untuk memeriksa apakah serbuk besi layak digunakan untuk campuran aspal. Acuan yang digunakan adalah beberapa jurnal penelitian terdahulu. Berikut adalah ringkasan jurnal-jurnal yang digunakan oleh peneliti sebagai acuan.

Tabel 2.6 Ringkasan Jurnal Pemanfaatan Serbuk Besi Sebagai Pengganti Agregat Halus untuk Campuran Aspal

No	Peneliti	Judul	Hasil Penelitian
1	Umma Chintya Devi dan Nur Azizah Affandy (Agustus 2021) Jurnal Mitra Teknik Sipil Vol.4 No.3 Universitas Islam Lamongan	Penggunaan Limbah Serbuk Besi Sebagai Campuran Agregat Halus Pada <i>Asphalt Concrete - Wearing Course</i> (AC-WC)	Penelitian ini menunjukkan hasil perbandingan dengan variasi kadar serbuk besi 0%, 4%, 4,5%, dan 5% tertinggi tanpa dan dengan bahan tambah yang terdiri dari : Stabilitas tanpa bahan tambah kadar 0% yaitu 997 kg dan dengan bahan tambah kadar 4% yaitu 788kg dan <i>Flow</i> tanpa bahan tambah kadar 0% yaitu 3,17 mm dan dengan bahan tambah kadar 4% yaitu 3,33 mm. Dari hasil tersebut dapat diketahui untuk campuran aspal

			dengan bahan tambah serbuk besi dari kadar 4%, 4,5%, dan 5% yang paling mendekati syarat spesifikasi adalah dengan kadar 4%.
2	Samsul Bahri (Oktober 2017) Jurnal Teknik Sipil Inersia Vol.9 No.2 Universitas Bengkulu	Pemanfaatan Limbah Serbuk Besi Sebagai Agregat Halus Pada Campuran Aspal Panas	Hasil penelitian memperlihatkan penggantian agregat halus dengan limbah serbuk besi sebesar 25% didapat nilai stabilitas sebesar 1122,6 kg. Sedangkan tanpa penggantian agregat halus atau kondisi normal stabilitasnya sebesar 1095,49 kg. Artinya terjadi peningkatan stabilitas sebesar 3,23% akibat penggantian agregat halus dengan limbah serbuk besi sebesar 25%. Nilai stabilitas yang didapat berada diatas batas minimal spesifikasi Direktorat Jenderal Bina Marga (2010) yaitu minimum 800 kg. Tanpa penggantian agregat halus atau kondisi normal didapat nilai <i>flow</i> sebesar 4,00 mm. Penggantian agregat halus dengan limbah serbuk besi sebesar 25% didapat nilai <i>flow</i> 3,86 mm. Hasil tersebut memenuhi spesifikasi Direktorat Jenderal Bina Marga (2010) untuk kelelahan ( <i>flow</i> ) yaitu minimum 3 mm.
3	Samsul Bahri dan Dwi Agust Susilo Irawan (April 2010) Jurnal Teknik Sipil Inersia Vol.2 No.2 Universitas Bengkulu	Pengaruh Limbah Serbuk Besi Sebagai Pengganti Sejumlah Agregat Halus Terhadap Campuran Aspal	Hasil pengujian karakteristik <i>Marshall</i> pada kondisi KAO menunjukkan bahwa pada persen penggantian sejumlah agregat halus dengan menggunakan serbuk besi secara umum memenuhi ketentuan yang disyaratkan dalam spesifikasi BM, 2005. Pada penggantian persen fraksi

		<p>halus 0% stabilitas bernilai 1201 kg. Pada penggantian persen fraksi halus 5% stabilitas bernilai 1660 kg. Pada penggantian persen fraksi halus 10% stabilitas bernilai 1964 kg. Pada penggantian persen fraksi halus 15% stabilitas bernilai 2093 kg. Dengan demikian pergantian persen fraksi halus menyebabkan kenaikan nilai stabilitas.</p> <p><i>Flow</i> pada pergantian persen fraksi halus 0% bernilai 3,20 mm. Pada pergantian persen fraksi halus 5% <i>flow</i> bernilai 3,50 mm. Pada pergantian persen fraksi halus 10% <i>flow</i> bernilai 2,90 mm. Pada pergantian persen fraksi halus 15% <i>flow</i> bernilai sama dengan pergantian persen fraksi halus 0% yaitu 3,20 mm.</p>
--	--	--

(Sumber : Rekapitulasi Penelitian Terdahulu, 2022)

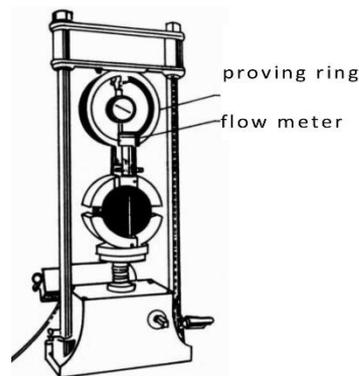
## 2.6 Pengujian Marshall

Kinerja beton aspal padat ditentukan melalui pengujian benda uji meliputi :

1. Pengujian berat volume benda uji.
2. Pengujian nilai stabilitas.
3. Pengujian kelelahan (*flow*).
4. Perhitungan *Marshall Quotient* (MQ), yaitu perbandingan antara nilai stabilitas dan *flow*.
5. Perhitungan berbagai jenis volume rongga dalam beton aspal padat (VIM, VMA dan VFA).
6. Perhitungan tebal selimut atau film aspal.

Pengujian kinerja beton aspal padat dilakukan melalui pengujian Marshall, yang dikembangkan pertama kali oleh Bruce Marshall dan dilanjutkan oleh *U.S Corps Engineer*.

Alat Marshall merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan cincin pengujian (*proving ring*) berkapasitas 22,2 kN (5000 lbs) dan *flowmeter* seperti pada gambar berikut.



Gambar 2.8 Alat Marshall

Dari keenam pengujian yang biasa digunakan untuk menentukan kinerja beton aspal, hanya nilai stabilitas dan *flow* yang didapat dengan menggunakan alat Marshall. Sedangkan parameter lainnya ditentukan melalui penimbangan benda uji dan perhitungan/pengolahan data. Uji Marshall dilakukan untuk berbagai tujuan antara lain :

1. Sebagai bagian dalam proses merancang campuran beton aspal.
2. Sebagai bagian dalam sistem penjamin mutu campuran.
3. Sebagai bagian dari penelitian karakteristik beton aspal.

Proses pembuatan benda uji Marshall dapat berbeda sesuai dengan tujuan mengapa uji Marshall dilakukan. Oleh karena itu, sebelum benda uji disiapkan perlu dipastikan tujuan pengujian dilakukan. Umumnya pengujian Marshall meliputi :

1. Pembuatan benda uji.
2. Pengujian berat jenis *bulk* benda uji.
3. Pengujian nilai stabilitas dan *flow*.
4. Perhitungan sifat volumetrik benda uji.

## 2.7 Metode Perencanaan

Rancangan campuran bertujuan untuk mendapatkan resep campuran aspal beton dari material yang terdapat di lokasi sehingga dihasilkan campuran yang memenuhi spesifikasi campuran yang ditetapkan. Saat ini, metode rancangan campuran yang paling banyak dipergunakan di Indonesia adalah metode rancangan campuran berdasarkan pengujian empiris, dengan mengguankan alat Marshall.

Tujuan dari perencanaan campuran aspal adalah untuk mendapatkan campuran efektif dari gradasi agregat dan aspal yang akan menghasilkan campuran aspal yang memiliki sifat-sifat berikut :

1. Stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur, dan *bleeding*. Kebutuhan akan stabilitas sebanding dengan kebutuhan jalan, dan beban lalu lintas yang akan dilayani. Jalan yang melayani volume lalu lintas tinggi dan dominan terdiri dari kendaraan berat, membutuhkan perkerasan jalan dengan stabilitas tinggi dan Sebaliknya.
2. Keawetan atau durabilitas adalah kemampuan aspal beton menerpa repetisi beban lalu lintas seperti berat kendaraan dan gesekan antara roda kendaraan dan permukaan jalan, serta menahan keausan akibat pengaruh cuaca dan iklim, seperti udara, air, atau perubahan temperatur.
3. Kelenturan atau fleksibilitas adalah kemampuan beton aspal untuk menyesuaikan diri akibat penurunan (*konsolidasi/settlement*) dan pergerakan dari pondasi atau tanah dasar, tanpa terjadi retak.
4. Ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue resistance*) adalah kemampuan aspal beton menerima lendutan berulang akibat repetisi beban, tanpa terjadinya kelelahan berupa alur dan retak.
5. Kekesatan/tahanan geser (*skid resistance*) adalah kemampuan permukaan aspal beton terutama pada kondisi basah, memberikan gaya gesek pada roda kendaraan sehingga kendaraan tidak tergelincir atau slip.

6. Kedap air (*impermeability*) adalah kemampuan aspal beton untuk tidak dimasuki air ataupun udara ke dalam lapisan aspal beton. Air dan udara dapat mengakibatkan percepatan proses penuaan aspal, dan pengelupasan selimut aspal dari permukaan agregat. Tingkat impermeabilitas pada aspal beton berbanding terbalik dengan tingkat durabilitasnya.
7. Mudah dilaksanakan (*workability*) adalah kemampuan campuran aspal beton untuk mudah dihamparkan dan dipadatkan. Faktor yang mempengaruhi tingkat kemudahan dalam proses penghamparan dan pemadatan adalah viskositas aspal, kepekaan aspal terhadap perubahan temperatur, dan gradasi serta kondisi agregat.

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