

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan adalah lapisan atau struktur yang dibangun di atas permukaan tanah atau *subgrade* untuk memberikan kekuatan, daya tahan, dan kemulusan pada jalan. Tujuan utama perkerasan jalan adalah untuk mendukung lalu lintas kendaraan dan melindungi *subgrade* dari kerusakan yang disebabkan oleh beban kendaraan dan faktor cuaca. Perkerasan jalan bisa disebut sebagai sebuah bangunan yang terletak di atas lapisan tanah dasar (*subgrade*) berfungsi sebagai penopang beban lalu lintas. Agar didapat hasil yang sesuai dengan mutu yang diharapkan maka pengetahuan tentang sifat, pengadaan dan pengelolaan dari bahan penyusun perkerasan jalan sangat diperlukan [8]. Perkerasan jalan adalah campuran antara agregat dan bahan ikat yang digunakan untuk melayani beban lalu lintas. Agregat yang biasanya dipakai dalam perkerasan jalan adalah batu pecah (*split*) atau batu kali yang sudah memenuhi standar agregat yang ditetapkan dalam perencanaan perkerasan jalan [9].

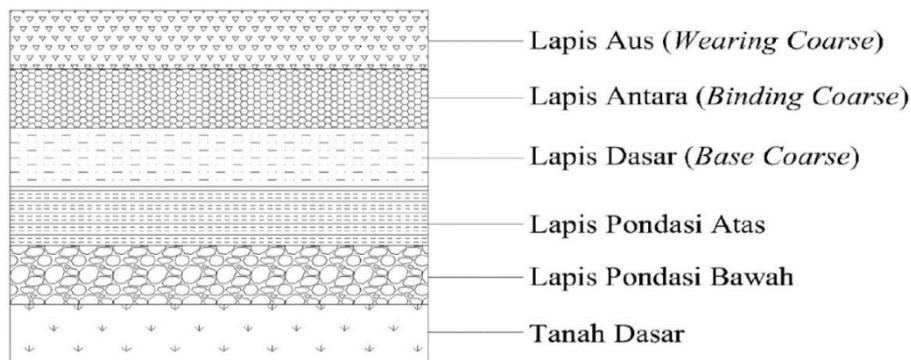
Perkerasan memiliki beberapa jenis sesuai dengan kebutuhan kondisi yang dibutuhkan. Penggunaan jenis perkerasan jalan sangat penting dipilih sesuai dengan kondisi yang ada agar memiliki masa pakai yang lebih panjang. Konstruksi perkerasan tersusun atas beberapa jenis lapisan berdasarkan bahan penyusunnya dan kondisi yang meliputi [8]:

1. Konstruksi perkerasan lentur (*flexibel pavement*), merupakan sebuah jenis perkerasan dimana bahan pengikatnya menggunakan aspal, lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan bahan lalu lintas ke tanah dasar.
2. Konstruksi perkerasan kaku (*rigid pavement*), merupakan sebuah lapis perkerasan yang menggunakan semen sebagai bahan pengikat. Plat beton dengan atau tanpa tulangan diletakkan diatas tanah dasar dengan atau tanpa lapis pondasi bawah.
3. Konstruksi perkerasan komposit (*composite pavement*), merupakan sebuah lapis perkerasan kaku yang merupakan hasil kombinasi dengan perkerasan lentur.

2.2 Lapis Aspal Beton (Laston)

Lapis Aspal Beton adalah jenis perkerasan jalan yang terdiri dari campuran agregat, dengan atau tanpa bahan tambahan. Material-material pembentuk beton aspal dicampur di instalasi pencampur pada suhu tertentu, kemudian diangkut ke lokasi, dihamparkan, dan dipadatkan. Suhu pencampuran ditentukan berdasarkan jenis aspal apa yang akan digunakan. Dalam pencampuran aspal harus dipanaskan untuk memperoleh tingkat kecairan (viskositas) yang tinggi agar dapat mendapatkan mutu campuran yang baik dan kemudahan dalam pelaksanaan. Pemilihan jenis aspal yang akan digunakan ditentukan atas dasar iklim, kepadatan lalu lintas dan jenis konstruksi yang akan digunakan. Salah satu jenis campuran beraspal panas yang sering digunakan adalah lapis Beton Aspal (Laston) atau AC (*Asphalt Concrete*). Salah satu jenis perkerasan aspal pada spesifikasi ini adalah

lapis beton aspal (Laston) atau lebih dikenal dengan AC (*Asphalt Concrete*). Laston lebih tahan terhadap pelelehan plastis akan tetapi cukup peka terhadap retak [10]. Salah satu produk campuran beton aspal yang kini banyak digunakan oleh Departemen Permukiman Dan Prasarana Wilayah adalah *Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC)* / Lapis Aus Aspal Beton. AC-WC adalah salah satu dari tiga macam campuran lapis aspal beton yaitu AC-Base, AC-BC dan AC-WC. Ketiga jenis *Asphalt Concrete* tersebut merupakan konsep spesifikasi campuran beraspal yang telah disempurnakan oleh Bina Marga bersama-sama dengan Pusat Litbang Jalan. Dalam perencanaan spesifikasi baru tersebut menggunakan pendekatan kepadatan mutlak [11].



Gambar 2.1 Struktur Lapisan Perkerasan Jalan Lentur [12].

2.2.1 Lapis Aus AC-WC

Lapis struktur perkerasan yang terletak paling atas adalah lapis permukaan. Salah satu jenis lapis permukaan yang telah dikenal luas di Indonesia adalah lapis permukaan beton aspal (AC). Sukirman [12] menjelaskan bahwa lapis permukaan beton aspal dapat berupa beton aspal lapis pengikat (*Asphalt Concrete Binder Course, AC-BC*) dan beton aspal lapis aus (*Asphalt Concrete Wearing Course, AC-WC*). Sesuai dengan

namanya, lapis perkerasan AC-WC berfungsi sebagai lapis aus dengan tebal minimal 4.0 cm Perkerasan beton aspal lapis aus (ACWC) merupakan lapisan yang terletak paling atas yang membuat lapisan ini bersentuhan langsung dengan roda-roda kendaraan, panas matahari, dan air hujan. Oleh karena itu perlu ketahanan yang baik. Dilihat dari letak dan fungsinya, membuat perkerasan AC-WC sangat rentan dengan kerusakan seperti pengelupasan (*stripping*) dan perubahan bentuk (deformasi) [12].

2.2.2 Lapis Aus AC-BC

Asphalt Concrete-Binder Course (AC-BC) adalah lapisan perkerasan yang terletak dibawah lapisan aus (AC-WC) dan diatas lapisan fondasi (AC-*Base*), lapisan ini tidak langsung bersentuhan dengan cuaca tetapi harus memiliki kekakuan serta ketebalan yang cukup untuk mengurangi / regangan akibat beban lalu lintas yang diteruskan sampai lapisan yang ada dibawahnya yaitu AC-BASE dan *Subgrade*. Lapisan ini juga sering disebut sebagai Lapis Aspal Beton Antara karena diantara AC-WC dan AC-*base*. Untuk ukuran tebal lapisan AC-BC ini adalah 6 cm [13].

2.2.3 Lapis Aus AC-Base

Asphalt Concrete- base (AC-*Base*) adalah lapis pondasi perkerasan yang terdiri dari campuran agregat dan aspal dengan perbandingan tertentu dicampur dan dipadatkan dalam keadaan panas. Lapis ini terletak dibawah AC-BC dan sebagai lapis yang paling dasar / fondasi dasar perkerasan pada lapis aspal beton (lasion). Lapisan ini berfungsi untuk mengurangi / regangan, menyebarkan dan meneruskan beban lalu lintas ke bawah (tanah dasar / *Subgrade*). Lapisan ini juga sering disebut sebagai Lapis Aspal Beton

Pondasi karena terletak paling bawah dan perannya sebagai pondasi dari struktur perkerasan tersebut. Untuk ukuran tebal pada lapisan *AC-Base* ini adalah 7,5 cm [13].

2.3 Karakteristik Beton Aspal

Terdapat tujuh karakteristik yang harus dimiliki oleh campuran beton aspal. Karakteristik ini merupakan penunjang untuk keawetan dari beton aspal yang digunakan. Karakteristik ini dapat diketahui dengan melakukan pengujian salah satunya adalah pengujian marshall. Tujuh karakteristik tersebut adalah stabilitas, keawetan, kelenturan, ketahanan terhadap kelelahan, kekesatan permukaan, kedap air dan mudah dilaksanakan.

1. Stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk seperti gelombang, alur dan *bleeding*. Kebutuhan akan stabilitas sebanding dengan fungsi jalan dan beban lalu lintas yang akan dilayani [12].
2. Keawetan atau durabilitas adalah kemampuan beton aspal menerima repetisi beban lalu lintas seperti berat kendaraan, gesekan antara roda kendaraan dan permukaan jalan serta menahan keausan akibat pengaruh cuaca dan iklim seperti udara, air atau perubahan temperatur. Durabilitas juga dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti tebalnya film aspal, banyaknya rongga dalam campuran, kepadatan dan kedap airnya campuran [12].
3. Kelenturan atau fleksibilitas adalah kemampuan beton aspal untuk menyesuaikan diri akibat penurunan fondasi atau tanah dasar tanpa

terjadi retakan. Penurunan terjadi akibat repetisi beban lalu lintas ataupun akibat berat sendiri tanah timbunan yang dibuat di atas tanah asli [12].

4. Ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue resistance*) adalah kemampuan beton aspal menerima lendutan berulang akibat repetisi beban lalu lintas tanpa terjadinya kelelahan berupa alur atau retak. Hal ini bisa dicapai dengan menggunakan kadar aspal yang tinggi [12].
5. Kekesatan atau ketahanan geser (*skid resistance*) adalah kemampuan permukaan beton aspal memberikan gaya gesek pada roda kendaraan sehingga kendaraan tidak tergelincir ataupun slip terutama pada kondisi basah. Faktor-faktor untuk mendapatkan kekesatan jalan sama dengan untuk mendapatkan stabilitas tinggi, yaitu kekasaran permukaan butir agregat, luas bidang kontak antar butir, bentuk butir, gradasi agregat, kepadatan campuran dan tebal film aspal [12].
6. Kedap air (impermeabilitas) adalah kemampuan beton aspal untuk tidak dapat dimasuki air ataupun udara ke dalam lapisan beton aspal. Air dan udara dapat mengakibatkan percepatan proses penuaan aspal dan pengelupasan film atau selimut aspal dari permukaan agregat. Jumlah rongga yang tersisa setelah beton aspal dipadatkan dapat menjadi indikator kekedapan campuran. Tingkat impermeabilitas beton aspal berbanding terbalik dengan tingkat durabilitasnya [12].
7. Mudah dilaksanakan (*workability*) adalah kemampuan campuran beton aspal untuk mudah dihamparkan dan dipadatkan. Tingkat kemudahan dalam pelaksanaan, menentukan tingkat efisiensi pekerjaan. Faktor

yang dapat mempengaruhi tingkat kemudahan dalam proses penghamparan dan pemadatan antara lain adalah viskositas aspal, kepekaan aspal terhadap perubahan temperatur, gradasi serta kondisi agregat [12].

2.4 Bahan Pembentuk Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan merupakan komponen vital dalam infrastruktur transportasi yang mendukung mobilitas dan konektivitas di seluruh dunia. Dalam pembentukan perkerasan jalan, berbagai bahan digunakan untuk menciptakan struktur yang kokoh, tahan lama, dan dapat menahan beban lalu lintas serta cuaca yang beragam. Agregat, aspal, beton, dan bahan stabilisasi tanah adalah beberapa bahan utama yang sering digunakan dalam proses ini. Berikut ini merupakan bahan-bahan yang digunakan di dalam pembangunan perkerasan jalan.

1. Material / Agregat

Agregat adalah partikel mineral yang berbentuk butiran-butiran yang merupakan salah satu penggunaan dalam kombinasi dengan berbagai macam tipe mulai dari sebagai bahan material di semen untuk membentuk beton, lapis pondasi jalan, material pengisi. Agregat didefinisikan secara umum sebagai formasi kulit bumi yang keras dan padat. ASTM mendefinisikan agregat sebagai suatu bahan yang terdiri dari mineral padat, berupa massa berukuran besar ataupun berupa fragmen-fragmen. Agregat yang digunakan dapat berupa agregat alam atau bautan. Salah satu penggunaan agregat yang sering dilakukan adalah sebagai bahan pengisi perkerasan jalan yang akan dicampurkan dengan aspal dan mengeras [14].

2. Agregat Halus / Pasir

Agregat halus adalah agregat yang mempunyai sifat lolos saringan No.8 (2,36 mm) tertahan saringan No.200 (0,075 mm). Fungsi utama agregat halus adalah untuk menyediakan stabilitas dan mengurangi deformasi permanen dari perkerasan melalui keadaan saling mengunci (*interlocking*) dan gesekan antar butiran. Untuk hal ini maka sifat eksternal yang diperlukan adalah *angularity* (bentuk menyudut) dan *particle surface roughness* (kekasaran permukaan butiran). Agregat halus biasanya berbentuk pasir atau biasa disebut abu batu [14]

3. Agregat Kasar / Batu Pecah

Fraaksi agregat kasar untuk agregat ini adalah agregat yang tertahan di atas saringan 2,36 mm (No.8), menurut saringan ASTM. Fraksi agregat kasar untuk keperluan pengujian harus terdiri atas batu pecah atau kerikil pecah dan harus disediakan dalam ukuran-ukuran normal. Agregat kasar ini menjadikan perkerasan lebih stabil dan mempunyai ketahanan terhadap selip yang tinggi sehingga lebih menjamin keamanan berkendara. Agregat kasar yang mempunyai bentuk butiran yang bulat memudahkan proses pemadatan, tetapi rendah stabilitasnya, sedangkan yang berbentuk menyudut (*angular*) sulit dipadatkan tetapi mempunyai stabilitas yang tinggi. Agregat kasar harus mempunyai ketahanan terhadap abrasi bila digunakan sebagai campuran *wearing course*, untuk itu nilai *Los Angeles Abrasion Test* harus dipenuhi.

4. Aspal

Aspal didefinisikan sebagai material berwarna hitam atau coklat tua, pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat. Jika dipanaskan

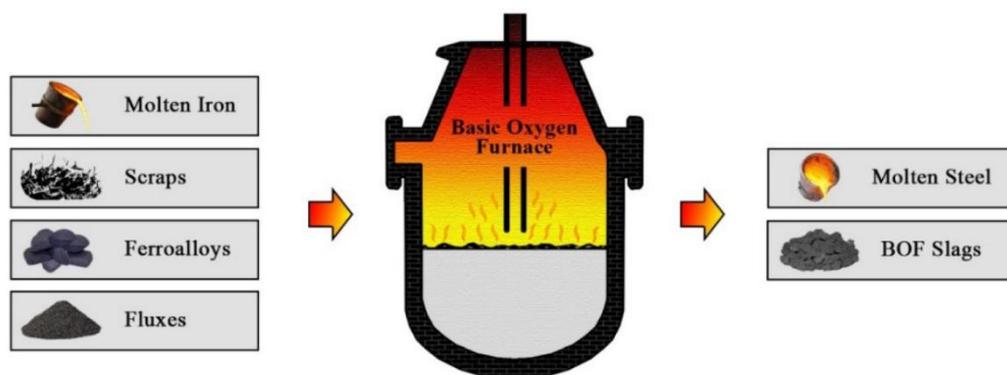
sampai suatu temperatur tertentu aspal dapat menjadi lunak atau cair sehingga dapat membungkus partikel agregat pada waktu pembuatan aspal beton atau dapat masuk kedalam pori-pori yang ada pada penyemprotan perkerasan macadam. Jika temperatur mulai turun, aspal akan mengeras dan mengikat agregat pada tempatnya [13]. Aspal sebagai salah satu material konstruksi perkerasan lentur merupakan salah satu komponen kecil, umumnya hanya 4-10% berdasarkan berat atau 10-15% berdasarkan volume campuran perkerasan jalan. Aspal terdiri dari unsur carbon (C) sebagai komponen utama $\pm 80\%$, hidrogen (H) $\pm 10\%$ dan sisanya berupa sulfur (S) yang membentuk berbagai persenyawaan hidrokarbon. Aspal dibedakan dari jenis penetrasi yang dihasilkan. Semakin kecil nilai penetrasi aspal semakin tinggi titik leleh aspal [15].

2.5 Steel slag

Slag adalah produk sampingan padat bukan logam yang dihasilkan dari proses peleburan logam pada tanur (*furnace*) dan merupakan kumpulan oksida dalam keadaan lebur dan terpisah dari fasa logam cair selama proses peleburan. Produk sampingan ini berasal dari hasil residu pembakaran *basic oxygen furnace* yang dihasilkan oleh industri peleburan baja, yang secara fisik menyerupai agregat. Slag termasuk limbah B3 (Bahan Berbahaya Beracun) namun setelah adanya lampiran XIV Peraturan Pemerintah (PP) No 22 tahun 2021, pemerintah menetapkan beberapa jenis limbah industri besi dan baja yang semula masuk dalam kategori Limbah B3 menjadi Limbah Non-B3 Terdaftar yaitu slag besi/baja (N101), *mill scale* (N103), debu *Electric Arc Furnace*/debu EAF (N104), dan *precious ball* atau

PS ball (N105). Penggunaan *steel slag* sebagai agregat bahan pembangunan jalan setidaknya bisa menggantikan material seperti batu alam yang semakin lama habis karena ditambang [16].

Steel slag basic oxygen furnace adalah produk sampingan yang berasal dari proses pembuatan baja dalam *basic oxygen furnace*, besi cair yang dihasilkan dalam *furnace* bergabung dengan serpihan baja, dan batu kapur (sebagai bahan fluks). Keberadaan serpihan baja memainkan peran kunci dalam mendinginkan *furnace* dan menjaga suhu sekitar 1600 °C (suhu yang diperlukan untuk reaksi kimia antara kokas dan bijih besi). Secara konvensional, komposisi yang tepat untuk muatan *basic oxygen furnace* terdiri dari 80-90% besi cair dan 10-20% serpihan baja, dengan tambahan fluks. Melalui pengecoran besi cair (dari atas *furnace*) dan penyemprotan oksigen murni, kotoran dalam muatan dihilangkan melalui fenomena oksidasi, dan pembentukan karbon monoksida dapat berkembang; bahan fluks bertindak sebagai penyaring, mengurangi semua unsur kimia yang tidak diinginkan dari lelehan (batu kapur dapat bereaksi membentuk oksida silikon, fosfor, sulfur, dan mangan).



Gambar 2.2 Proses Produksi *Slag Basic Oxygen Furnace* [4].

Siklus penyemprotan dihentikan ketika komposisi kimia yang diinginkan tercapai. *steel slag* yang berasal dari proses pembuatan baja ini mengapung di atas besi cair, dan dapat dipisahkan berkat perbedaan dalam kerapatan material. Jika prosedur pemurnian sekunder lebih lanjut tidak direncanakan, *basic oxygen furnace* dapat menghasilkan produk padat yang diperoleh melalui proses pendinginan. Produk ini memiliki berbagai bentuk (bongkah, billet, atau lempengan) dan karakteristik. Umumnya, jenis *steel slag* ini dicirikan oleh sudut prisma dan kekerasan tinggi. Komposisi kimia akhir dari *basic oxygen furnace steel slag* sangat dipengaruhi oleh reaksi kimia yang terjadi selama penghilangan kotoran yang diberikan oleh fluks [4]. Penggunaan *steel slag* (terak baja) telah berkembang pesat di luar negeri, seiring dengan meningkatnya kesadaran akan pentingnya keberlanjutan dan pengelolaan limbah industri. Berikut ini merupakan komposisi pada *steel slag*.

Tabel 2.1 Komposisi *Steel Slag* Berdasarkan Hasil Uji XRF [4]

Komposisi	<i>Steel slag</i>
CaO	35-45%
SiO ₂	11-17%
Al ₂ O ₃	1-6%
MgO	2-9%
FeO	16-26%
MnO	2-6%
P ₂ O ₅	1-2%
S	≤0.2%
Cr ₂ O ₃	0,5-2%

2.6 Aspal

Aspal merupakan material perekat (cementitious) berwarna hitam atau coklat tua, dengan unsur utama bitumen. Aspal dapat diperoleh dari alam yang merupakan residu dari pengilangan minyak bumi. Aspal adalah material yang pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat dan bersifat termoplastis. Jadi aspal akan mencair ketika dipanaskan sampai temperatur tertentu dan akan membeku jika temperatur turun. Aspal adalah bahan yang sangat penting dalam industri konstruksi, terutama untuk pembuatan jalan raya dan lapisan permukaan.

Bina Marga mengatakan bahwa ada beberapa jenis aspal yang umum digunakan di Indonesia meliputi aspal minyak, aspal emulsi, aspal modifikasi dan aspal buton (asbuton). Aspal minyak merupakan bahan tersisa yang dianggap sudah tidak lagi diproses secara ekonomi dan proses destilasi minyak bumi di pabrik kilang minyak. Bahan tersebut kita kenal dalam tiga kelas penetrasi yaitu pen 40/50, pen 60/70 dan pen 80/100. Semakin rendah angka penetrasi maka akan semakin keras wujud aspal, semakin susah cara penanganannya karena diperlukan suhu lebih tinggi agar aspal menjadi lunak atau cair. Sebaliknya semakin tinggi angka penetrasi maka aspal akan semakin mudah mencair dan mudah dalam pengerjaannya, namun juga menjadi semakin sulit untuk menstabilkan campuran aspal, khususnya pada iklim panas seperti di Indonesia, karena aspal akan cenderung melunak pada suhu udara tinggi [17]. Aspal dengan penetrasi rendah digunakan untuk cuaca panas, volume lalu lintas yang tinggi. Aspal dengan nilai penetrasi tinggi digunakan untuk daerah dengan cuaca dingin dan lalu lintas rendah. Di Indonesia umumnya aspal yang digunakan adalah aspal dengan penetrasi 60-70 dan 80-100) [18].

2.7 Karakteristik Campuran Aspal Beton

VMA (*Voids in Mineral Aggregate*), VIM (*Voids in Mineral*), dan VFA (*Voids Filled with Asphalt*) adalah parameter yang digunakan dalam analisis campuran aspal beton (CAB) untuk mengevaluasi karakteristik kekosongan atau rongga di dalam campuran. Ketiga parameter ini membantu mengidentifikasi jumlah dan distribusi ruang pori dalam campuran aspal beton, yang memiliki pengaruh penting terhadap kinerja perkerasan.

2.7.1 *Voids in Mineral Aggregate (VMA)*

VMA adalah ruang di antara partikel agregat pada suatu perkerasan beraspal, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat) [19]. VMA memberikan indikasi sejauh mana aspal dapat mengisi ruang pori di antara agregat. VMA diukur sebagai persentase volume total campuran. VMA memiliki persamaan sebagai berikut.

$$VMA=100 - \frac{(100-\% \text{ aspal}) \times \text{berat volume benda uji}}{B.J. \text{ Agregat}} \dots\dots\dots(2.1)$$

2.7.2 *Voids in Mineral (VIM)*

Nilai VIM menunjukkan presentase volume rongga terhadap volume total campuran setelah dipadatkan [19]. VIM digunakan untuk mengetahui besarnya rongga campuran, sedemikian sehingga rongga tidak terlalu kecil (menimbulkan bleeding) atau terlalu besar (menimbulkan oksidasi / penuaan aspal dengan masuknya udara). VIM juga dapat memberikan sebuah gambaran tentang sejauh mana agregat mineral dapat mengisi ruang yang tersedia pada campuran. Persamaan VIM sebagai berikut.

$$\text{VIM} = 100 - \frac{100 \times \text{berat volume benda uji}}{\text{B.J. maksimum teoritis}} \dots\dots\dots(2.2)$$

Berat jenis maksimum teoritis:

$$\text{BJ} = \frac{100}{\frac{\% \text{ agr}}{\text{BJ agr}} + \frac{\% \text{ aspal}}{\text{BJ aspal}}} \dots\dots\dots(2.3)$$

2.7.3 Voids Filled with Asphalt (VFA)

VFA mengacu pada volume ruang pori yang diisi dengan aspal di antara partikel agregat mineral. VFA adalah persentase dari VMA yang terisi oleh aspal, tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat [19]. VFA adalah persentase rongga yang terdapat diantara partikel agregat (VMA) yang terisi oleh aspal, tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat. VFA memiliki persamaan sebagai berikut.

$$\text{VFA} = 100 - \frac{\text{VMA} - \text{VIM}}{\text{VMA}} \dots\dots\dots(2.4)$$

2.8 Uji Marshall

Pengujian kinerja aspal padat dilakukan melalui pengujian Marshall, yang dikembangkan pertama kali oleh Bruce Marshall dan dilanjutkan oleh U.S. Corps *Engineer*. Pengujian *Marshall* bertujuan untuk menentukan ketahanan dan kekuatan (stabilitas) terhadap kelelahan plastis (*flow*). Kedua data tersebut digunakan untuk menentukan *Marshall quotient* (MQ). Oleh karena itu penting sekali untuk mengetahui kinerja yang dihasilkan. Kinerja aspal padat ditentukan melalui pengujian benda uji yang meliputi [20]:

1. Penentuan berat volume benda uji

2. Pengujian nilai stabilitas, adalah kemampuan maksimum beton aspal menerima beban sampai terjadi kelelahan plastis.
3. Pengujian kelelahan (*flow*), adalah besarnya perubahan bentuk plastis dari beton aspal padat, akibat adanya beban sampai batas keruntuhan.
4. Perhitungan koefisien marshall, adalah perbandingan antara nilai stabilitas dan *flow*.
5. Perhitungan berbagai jenis volume pori dalam beton aspal padat (VIM, VMA dan VFA).

2.8.1 Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan lapis keras dalam menahan beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk yang permanen. Stabilitas dinyatakan dalam kilogram (kg). Pengukuran stabilitas dengan uji *Marshall* diperlukan untuk mengetahui kekuatan geser dari sampel yang ditahan dua sisi kepala penekan. Untuk mengetahui karakteristik campuran yang memenuhi kriteria perlu dilakukan evaluasi hasil pengujian Marshall, salah satunya nilai Stabilitas. Stabilitas merupakan kemampuan perkerasan untuk menerima suatu beban sampai terjadi kelelahan [21]. Nilai stabilitas harus mencapai nilai standar agar tidak mudah terjadi kerusakan.

2.8.2 Kelelahan (*Flow*)

Nilai kelelahan yang diperoleh dari uji *Marshall* adalah nilai batas kekuatan Stabilitas dari benda uji yang telah mengalami kehancuran antara komponen bahan pada benda uji. Setelah diketahui nilai Stabilitas dan kelelahan (*flow*) perlu diketahui nilai *Marshall quotient* yang merupakan hasil bagi keduanya [21].

2.8.3 *Marshall quotient*

Marshall quotient adalah salah satu parameter yang digunakan dalam uji Marshall, suatu metode pengujian untuk campuran aspal beton (CAB). Uji ini membantu mengevaluasi kekuatan dan stabilitas campuran aspal beton yang akan digunakan dalam konstruksi perkerasan jalan. *Marshall quotient* dinyatakan sebagai rasio antara kekuatan stabilitas terhadap deformasi.