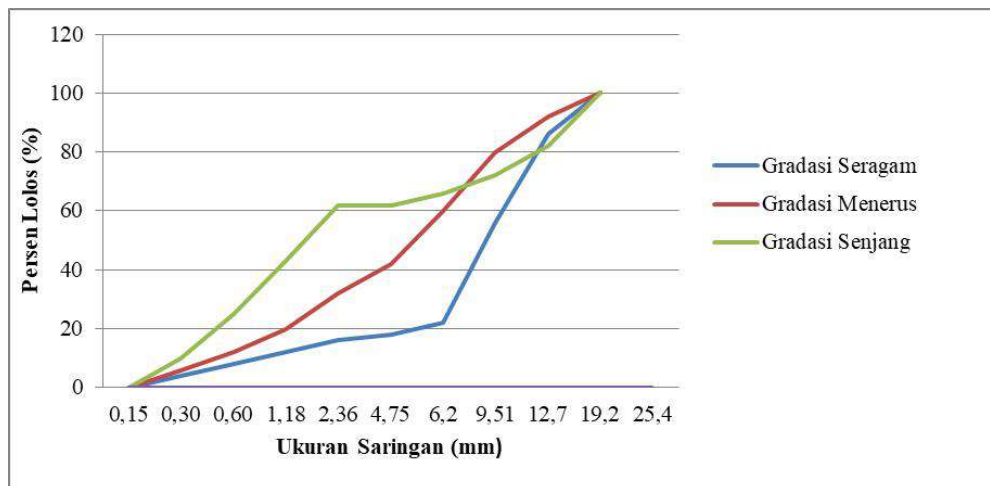


BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Variasi Gradasi

Penempatan butir, juga dikenal sebagai gradasi, adalah penyebaran ukuran agregat. Variable distribusi ini terdiri dari tiga kategori: gradasi seragam, menerus, dan senjang. Untuk menentukan gradasi tersebut, pengujian dilakukan dengan analisa saringan sesuai standar ASTM C-33 serta SNI 03-1968-1990. Gradasi seragam didefinisikan sebagai gradasi yang terdiri dari ukuran agregat yang hampir identik sehingga membentuk grafik gradasi seragam yang memiliki karakteristik garis vertikal yang mengatur gradasi agregat dalam satu ukuran, rentang, atau batas pecahan tertentu. Gradasi menerus adalah gradasi di mana semua ukuran agregat ada dan tersebar luas. Gradasi senjang adalah gradasi di mana satu atau lebih ukuran fraksi atau butir agregat hilang dari saringan



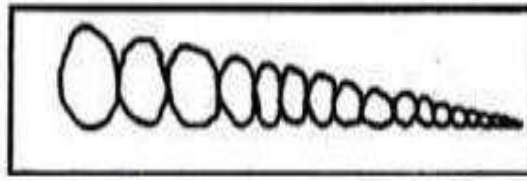
Gambar 2.1. Contoh grafik gradasi seragam, menerus dan senjang

sumber : studypool.com

2.2 Gradasi Agregat

Sebaran variasi ukuran masing-masing butir disebut sebagai gradasi agregat telah disyaratkan, dimana semua Sebagai bagian dari spesifikasi perkerasan, agregat harus memiliki partikel dalam rentang ukuran tertentu dan setiap partikel memiliki proporsi tertentu. Ukuran rongga antar bagian dipengaruhi oleh gradasi agregat, yang menentukan kemudahan penerapan dan stabilitas. Secara keseluruhan, klasifikasi dapat dibagi mejadi :

1. Agregat dengan gradasi yang baik adalah agregat yang ukuran butirannya tersebar secara merata di seluruh jangkauan ukurannya.

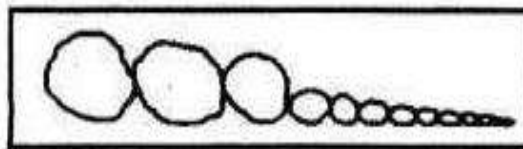


Gambar 2.2 Agregat bergradasi baik

Sumber : Sukirman, 2003

Agregat bergradasi baik termasuk dalam kelompok berikut: Agregat bergradasi baik mudah dipadatkan dan memiliki pori yang kecil.

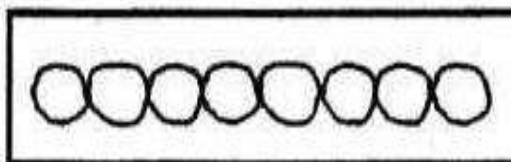
- a. Agregat dengan gradasi yang baik dikenal sebagai agregat bergradasi kasar dengan struktur ukuran yang lebih dominan, dari kasar hingga halus.
 - b. Agregat dengan gradasi baik didefinisikan sebagai agregat susunan ukuran menerus yang memiliki variasi mulai dari yang kasar hingga halus, tetapi ukuran halus yang lebih sering ditemukan.
2. Agregat bergradasi buruk merupakan agregat yang tidak memenuhi syarat menjadi agregat bergradasi baik. Agregat bergradasi buruk terbagi atas :
- a. Agregat bergradasi terbuka memiliki ukuran butir yang didistribusikan yang rendah, yang menyebabkan pori-porinya yang diisi tidak efektif.
 - b. Agregat dengan gradasi senjang tidak memiliki dimensi butir yang didistribusikan sedemikian rupa.



Gambar 2.3 Agregat bergradasi senjang

Sumber : Sukirman, 2003

- c. Agregat bergradasi seragam merupakan agregat berukuran hampir sama dan dari jenis yang memiliki sedikit agregat halus yang tidak dapat memenuhi lubang yang terbentuk antara agregat.



Gambar 2.4 Agregat bergradasi seragam

Sumber : Sukirman, 2003

Perencanaan campuran HRS-WC menggunakan gradasi senjang. Alasan untuk menggunakan gradasi senjang adalah volume rongga udara agregat yang besar, yang memungkinkan campuran menyerap lebih banyak aspal. Ada batas atas, tengah, atau ideal pada gradasi agregat.

Table 2.1 Gradasi Agregat Gabungan Untuk Campuran Aspal

Ukuran Ayakan		% Berat yang Lolos dari Agregat Total							
		Stone Matrix Asphalt (SMA)			Laston (HRS)		Laston (AC)		
ASTM	(mm)	Tipis	Halus	Kasar	WC	Base	WC	BC	Base
1 ½"	37,5								100
1"	25			100				100	90-100
¾"	19		100	90-100	100	100	100	90-100	76-90
½"	12,5	100	90-100	50-88	90-100	90-100	90-100	75-90	60-78
⅜"	9,5	70-95	50-80	25-60	75-85	65-90	77-90	66-82	52-71
No. 4	4,75	30-50	20-35	20-28			53-69	46-64	35-54
No. 8	2,36	20-30	16-24	16-24	50-72	35-55	33-53	30-49	23-41
No. 16	1,18	14-21					21-40	18-38	13-30
No. 30	0,600	12-18			35-60	15-35	14-30	12-28	10-22
No. 50	0,300	10-15					9-22	7-20	6-15
No. 100	0,150						6-15	5-13	4-10
No. 200	0,075	8-12	8-11	8-11	6-10	2-9	4-9	4-8	3-7

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2018

2.3 Penggabungan Agregat

Definisi agregat gabungan yaitu sebagai agregat yang dibuat melalui kombinasi proporsional dari agregat kasar, agregat halus, dan abu batu. Selanjutnya, untuk proporsi pencampuran setiap fraksi agregat yang dihasilkan harus diperiksa dan dinilai untuk menghasilkan campuran yang memenuhi spesifikasi.

Table 2.2 Penggabungan Agregat

Ukuran ayakan (mm)	Berat yang Lolos (%)
¾	100
½ "	90-100
⅜	75-85
No.8	50-72
No.30	35-60
No.200	6-10

Sumber : Spesifikasi umum divisi 6 perkerasan aspal (2018)

2.4 Porositas Agregat

Porositas agregat menentukan jumlah cairan yang dapat diserap agregat. Saat membuat campuran aspal, penting untuk mengetahui daya serap agregat. Agregat yang memiliki daya serap tinggi dapat menyerap aspal dengan baik sebelum maupun sesudah dicampur. Akibatnya, semakin sedikit aspal yang tertinggal di permukaan agregat, sehingga partikel agregat lebih mudah diikat dan membentuk lapisan aspal yang tipis.

Bahan pengisi sendiri terdiri dari dua bagian: bagian berongga yang terdiri dari air dan udara, dan bagian padat yang terdiri dari partikel padat. Agregat dan aspal dicampur dengan panas sehingga tidak ada air agregat. Salah satu tanda porositas agregat adalah berapa banyak agregat dapat menyerap air ketika direndam dalam air.

Agregat dapat menyerap aspal dalam campuran dengan menghitung penyerapan airnya. Agregat berpori menyerap aspal, yang menyebabkan campuran kering atau kehilangan daya lekat. Untuk mengimbangi serapan aspal ke dalam agregat, kadar aspal dalam campuran *hotmix* meningkat sedikit. Jika agregat yang sangat berpori digunakan dalam campuran, aspal harus ditambahkan dalam jumlah yang cukup besar. Kecuali agregat tersebut memiliki sifat yang sangat baik, agregat yang sangat berpori tidak digunakan dalam campuran agregat aspal. Berat jenis dan penyerapan dapat digunakan untuk mengukur porositas.

Uji porositas dilakukan dengan menggunakan sampel kubus 50 x 50 x 50 mm. Dengan menghitung persentase rongga beton dalam volume beton padat. Uji ini dilakukan sesuai dengan standar ASTM C 642-06.

$$Porositas = \frac{B-C}{B-A} \dots \dots \dots \text{Persamaan (2.1)}$$

Dimana :

A = Berat sampel dalam air (gram)

B = Berat sampel (gram) dalam kondisi SSD

C = Berat sampel yang telah kering di oven (gram)

2.5 Lapis Tipis Aspal Beton (LATASTON)

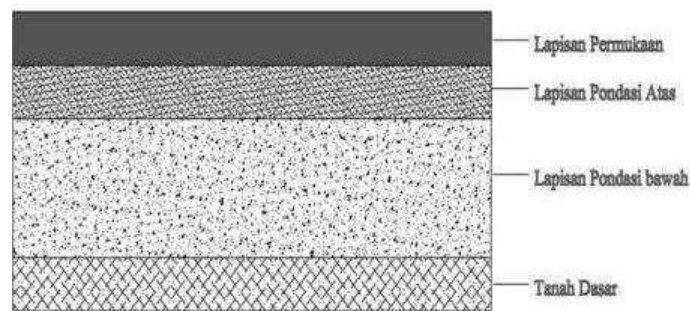
Lapis tipis aspal beton (LATASTON) merupakan lapis perkerasan jalan yang terbuat dari campuran agregat bergradasi timpang, *filler*, dan aspal keras yang dicampur dan dipadatkan dengan panas pada suhu tertentu. Dengan tujuan lataston dibuat untuk memperoleh suatu lapisan perkerasan jalan raya atau lapisan antar yang dapat menambah daya dukung. Fungsinya adalah sebagai lapisan yang tidak menyerap air yang memungkinkan bangunan di bawahnya untuk dilindungi.

Ada dua faktor yang memengaruhi campuran lataston:

- a. Gradasi yang benar-benar senjang: Dalam lataston, bahan bergradasi senjang, yang lolos dari saringan No.8 (2,36 mm) tetapi tetap di saringan No.30 (0,600 mm), terdiri dari campuran agregat kasar dan agregat halus. Agregat pecah mesin dapat digunakan untuk menghasilkan gradasi senjang.
- b. Menurut pedoman, rongga udara harus memenuhi syarat untuk kepadatan membal (*refusal density*).

Bagian perkerasan jalan umumnya meliputi :

1. Tanah dasar (*Sub Grade*)
2. Lapis pondasi bawah (*Sub Base Bourse*)
3. Lapis pondasi atas (*Base Course*)
4. Lapis permukaan (*Surface*)



Gambar 2.5 Potongan Lapisan Perkerasan Jalan

Sumber : Jurnal Teknik Sipil

Lapisan atas perkerasan, biasanya ditutup aspal, disebut lapisan permukaan dan berfungsi untuk berbagai tujuan.

1. Menahan perkerasan dari air
2. Memberikan permukaan yang lembut
3. Menawarkan permukaan yang keras
4. Mencegah abrasi akibat pengaruh lalu lintas

2.6 Komponen Campuran Lataston (HRS – WC)

Lataston dibuat dari campuran agregat kasar dan halus yang dibuat dari aspal panas bergradasi senjang. Gradasi senjang adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan agregat yang memiliki perbedaan ukuran yang signifikan. Oleh karena itu, Gradasi ini dikenal dengan istilah gradasi senjang atau *gap graded*.

Lataston terbuat dari campuran bahan berikut :

- a) Agregat kasar (*course aggregate*)
- b) Agregat halus (*fine aggregate*)
- c) Bahan pengisi (*filler*)
- d) Aspal

2.6.1 Agregat Kasar

Agregat kasar adalah batu pecah atau kerikil pecah yang dibuat secara basah. Agregat kasar dapat memberikan kekuatan campuran karena permukaannya yang kasar, tidak bulat, atau memiliki bidang yang pecah, yang berfungsi sebagai pengunci bahan lain

Table 2.3 Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian		Metode Pengujian	Nilai	
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan	natrium sulfat	SNI 3407 : 2008	Maks. 12 %	
	magnesium sulfat		Maks. 18 %	
Abrasi dengan mesin Los Angeles ¹⁾	Campuran AC Modifikasi dan SMA	SNI 2417 : 2008	100 putaran	Maks. 6%
			500 putaran	Maks. 30%
	Semua jenis campuran beraspal bergradasi lainnya		100 putaran	Maks. 8%
			500 putaran	Maks. 40%
Kelekatan agregat terhadap aspal		SNI 2439 : 2011	Min. 95%	
Butir Pecah pada Agregat Kasar	SMA	SNI 7619 : 2012	100/90 ¹⁾	
	Lainnya		95/90 ¹⁾	
Partikel Pipih dan Lonjong	SMA	ASTM D4791-10 Perbandingan 1 : 5	Maks. 5%	
	Lainnya		Maks. 10%	
Material lolos Ayakan No. 200		SNI ASTM C117 : 2012	Maks. 1%	

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018

2.6.2 Agregat Halus

Agregat halus berupa pasir bersih, pasir batu, dan batuan halus yang dihasilkan dari penggilingan batu dan lolos saringan No. 8 atau 2,38 mm.

Table 2.4 Ketentuan Agregat Halus

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

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018

2.6.3 Bahan Pengisi (Filler)

Bahan pengisi (*filler*) juga dikenal sebagai agregat halus, merupakan bahan yang terbentuk menjadi butir-butir kecil yang lolos saringan No. 30 dan dengan persentase berat No. 200 minimal 60%. Bahan pengisi, juga dikenal sebagai filler, harus kering dari gumpalan dan terbuat dari bahan yang tidak elastis seperti abu batu, abu batu kapur, kapur padam, semen (PC), atau bahan lainnya. Penambahan *filler* ke campuran beton aspal dapat dipengaruhi oleh faktor-faktor :

- a. *Filler* digunakan untuk menambah sifat beton seperti kepadatan, kekuatan, dan seterusnya
- b. Di dalam campuran beton aspal, *filler* mempunyai fungsi ganda :
 1. *Filler* berfungsi sebagai bagian agregat untuk meningkatkan kekuatan campuran dengan mengisi rongga dan meningkatkan bidang kontak antar agregat.
 2. *Filler* dan aspal akan menjadi bahan pengikat yang mengikat butiran agregat dengan konsentrasi tinggi.
 3. Dengan menggunakan agregat halus, berat jenis menjadi bertambah dan jumlah aspal yang diperlukan untuk mengisi lubang akan dikurangi.

2.6.4 Aspal

Aspal beton didefinisikan sebagai campuran bahan ikat aspal dengan batuan berupa agregat halus yang dipanaskan dan agregat kasar yang dipanaskan sebelum dimasukkan ke dalam campuran. Pabrik pencampur aspal (AMP) melakukan semua pekerjaan pencampuran *hot mix*, karena dicampur dalam keadaan panas.

Aspal, juga disebut bitumen, adalah bahan berviskoelastis berwarna hitam kecoklatan, berarti bahwa ia dapat menyelimuti agregat dan menahan posisinya selama proses produksi dan perawatannya.

Aspal keras biasanya dibuat dari penyulingan minyak bumi. Aspal buatan dan aspal alam digunakan untuk perkerasan jalan. Proses penyulingan membuat aspal dengan sifat khusus yang cocok untuk tujuan tertentu, seperti membuat campuran aspal, pelindung atap, dan tujuan lainnya.

1. Aspal alam

Aspal alam berasal dari alam dan dibagi menjadi dua kelompok berdasarkan despositnya :

- a. Aspal gunung (*Rock Asphalt*)
- b. Aspal danau (*Lake Asphalt*)

2. Aspal buatan

Ini adalah jenis aspal yang dibuat dari bahan dasar yang dihasilkan dari pengolahan minyak bumi.

a. Aspal Keras

Aspal keras, yang merupakan aspal hasil destilasi yang bersifat viskoelastis, akan melunak dan mencair ketika dipanaskan cukup untuk mencapai kondisinya yang ideal.

b. Aspal Cair

Asal cair adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan aspal yang dibuat dengan menggabungkan aspal yang keras dengan pelarut yang terbuat dari minyak.

c. Aspal Emulsi

Proses di mana partikel aspal padat terpisah dan tersebar di dalam air untuk membuat aspal emulsi dikenal sebagai emulsi aspal keras.

Aspal memiliki berbagai fungsi, termasuk :

- a. Sebagai pengikat batuan agar tidak terlepas dari jalan karena lalu lintas yang padat
- b. Berfungsi sebagai perekat dan penutup agregat
- c. Primer coat, juga disebut resap pengikat, adalah lapisan tipis aspal cair di atas lapis pertama pondasi.

- d. Lapisan pengikat, juga disebut sebagai lapis berikutnya, adalah lapis aspal cair yang diletakkan di atas jalan yang telah diaspal sebelum lapis berikutnya dihampar untuk mengikat keduanya. sebagai pengisi agregat kasar, agregat halus, dan *filler*

Untuk pembuatan jalan yang keras menggunakan aspal memiliki sifat-sifat berikut :

1. Bahan pengikat yang membentuk kekuatan agregat dan aspal
2. bahan pengisi yang memenuhi celah antara pori agregat dan butir agregat. Ini menunjukkan bahwa aspal harus kohesif, elastis, dan tahan terhadap cuaca.

Aspal memiliki sifat kimiawi sebagai berikut ::

Menurut jenis minyak bumi dan proses pengolahan, Aspal terdiri dari hidrokarbon, nitrogen, dan berbagai logam. *Asphaltenes*, *resins*, *oils* adalah komponen kimiawi utama aspal.

- a. *Asphaltenes* adalah zat tidak larut berwarna hitam atau cokelat tua.
- b. *Resins* adalah cairan kuning atau cokelat tua yang membuat aspal mudah hilang atau berkurang saat jalan digunakan.
- c. *Oils* adalah cairan berwarna lebih muda yang menghubungkan *asphaltenes* dan *resins*.

2.7 Beton Aspal Campuran Panas

Beton aspal campuran panas, juga dikenal sebagai beton aspal campuran panas, dibuat dengan mencampur material aspal dengan suhu campuran sekitar 150°C .

Berikut ini adalah jenis aspal beton campuran panas:

1. Lapis Tipis Aspal Pasir (*Sand Sheet*, SS) Kelas A dan B
Dua jenis campuran, SS-A dan SS-B, terdiri dari lapisan tipis aspal pasir (latasir) yang dipilih berdasarkan tebal nominal minimum. Agar latasir memenuhi syarat sifatnya, biasanya dibutuhkan filler.
2. Lapis Tipis Aspal Beton (*Hot Rolled Sheet*, HRS)
Dua jenis campuran Lapis Tipis Aspal Beton (Lataston) adalah HRS Lapis Aus (HRS – Wearing Course, HRS – WC) dan HRS Pondasi (HRS – Base). HRS Pondasi memiliki proporsi fraksi agregat kasar yang lebih besar daripada HRS WC, dengan ukuran agregat maksimum 19 mm

3. Lapis Aspal Beton (*Asphalt Concrete, AC*)

Tiga jenis campuran aspal beton (Laston) AC adalah lapis aus AC (AC - WC), lapis antara AC - Base. Campuran AC Lapis Pondasi dibuat dengan aspal polimer atau aspal alam dengan ukuran maksimum 19 mm, 25,4 mm, dan 37,5 mm.

2.8 Karakteristik Campuran Aspal Beton

Sebagai bahan aspal beton campuran panas, parameter campuran berikut diperlukan :

1. Stabilitas
2. Kelenturan (*fleksibilitas*)
3. Durabilitas
4. Ketahanan kelelahan (*fatigue resistance*)
5. Tahanan geser (*skid resistance*)
6. Keda air (*impermeabilitas*)
7. Kemudahan pekerjaan (*workability*)

2.8.1 Stabilitas

Kemampuan perkerasan untuk menahan beban lalu lintas tanpa mengalami kerusakan permanen seperti gelombang, bekas roda, atau kebocoran disebut stabilitas perkerasan. Stabilitas yang berlebihan mengakibatkan kurangnya volume antar agregat, lapisan menjadi kaku dan retak dengan cepat. Stabilitas dihasilkan oleh penguncian antar partikel, perpindahan antar butir, dan kekuatan retak lapisan aspal yang baik. Akibatnya, mencoba menggunakan metode ini dapat mencapai stabilitas yang tinggi :

- a) Agregat dengan gradasi yang rapat (*dense graded*)
- b) Agregat yang memiliki permukaan kasar
- c) Agregat dalam bentuk kubus
- d) Aspal yang memiliki penetrasi rendah
- e) Aspal yang mencukupi untuk mengikat antar butir

Namun, perkerasan jalan yang dibuat khusus untuk kendaraan ringan tidak perlu stabil. Faktor-faktor berikut memengaruhi tingkat stabilitas beton aspal :

1. Kekasaran agregat pada permukaannya, gradasi agregat, bidang kontak yang luas antara butir atau bentuknya, kepadatan campuran, dan ketebalan film aspal adalah semua faktor yang dapat menyebabkan gesekan internal. Kondisi gesekan internal mengunci dan mengisinya, membuat masing-masing bagian secara keseluruhan terhubung satu sama lain. Nilai stabilitas campuran dan tekanan kontak juga dipengaruhi oleh padatan campuran. Jika Anda memilih agregat yang bergradasi baik atau rapat, rongga yang ada di antara agregat akan diperkecil, sehingga jumlah aspal yang akan ditambahkan ke campuran akan lebih sedikit. Film aspal tipis karena hal ini. Kadar aspal yang ideal memberikan stabilitas terbaik.
2. Karena daya lekatnya, kohesi adalah gaya ikat aspal yang ideal untuk mempertahankan tekanan kontak antar bagian agregat. Penetrasi aspal dan daya kohesi dipengaruhi oleh tingkat pembebanan, komposisi kimiawi aspal, jumlah waktu yang dihabiskan, dan usia. Ketahanan aspal terhadap rapuh dan mengeras adalah hasil dari sifat rheologinya.

Untuk meningkatkan stabilitas, agregat dengan gradasi baik, atau gradasi rapat, memiliki rongga kecil, tetapi untuk mengikatnya diperlukan aspal. Rongga kecil (VMA) menghasilkan aspal yang mampu menutupi agregat yang lebih sedikit dan membentuk lapisan aspal tipis. Lapisan tipis dapat lepas dengan mudah, menyebabkan lapisan menjadi tidak kedap air lagi, teroksidasi, dan rusak. Jika Anda menggunakan banyak aspal, VMA kecil akan menyebabkan ruang kosong kecil di antara campuran (VIM). *Bleeding* adalah proses di mana lapisan aspal mencair karena beban lalu lintas meningkatkan pemadatan lapisan.

2.8.2 Kelenturan atau Fleksibilitas

Kemampuan lapisan perkerasan jalan agar mengalami kerusakan yang dipengaruhi oleh beban lalu lintas tanpa kehilangan volume atau retak disebut fleksibilitas. Untuk didapat fleksibilitas yang tinggi :

1. Apabila agregat bergradasi senjang digunakan, volume pori agregat mineral (VMA) yang tinggi dapat dicapai dalam beton yang dipenuhi aspal, yang dikenal sebagai beton aspal padat.

2. Menggunakan aspal yang tidak terlalu kasar atau dengan penetrasi tinggi
3. Jumlah aspal yang signifikan digunakan untuk menghasilkan VIM, Ini menunjukkan ukuran pori beton aspal yang padat.

Secara umum, komponen yang mempengaruhi fleksibilitas yaitu :

1. Jumlah aspal
2. Gradasi agregat
3. Viskositas aspal

2.8.3 Keawetan atau Durabilitas

Durabilitas adalah kemampuan beton aspal untuk mengatasi beban lalu lintas, seperti beban dari cuaca dan iklim, seperti udara, air, dan perubahan suhu, dan berat kendaraan dan berat antara roda kendaraan dan permukaan jalan. Beberapa faktor dapat memengaruhi lapisan aspal beton:

1. Film aspal yang tebal, juga dikenal sebagai selimut aspal, dapat digunakan untuk membuat lapis aspal beton yang kuat tetapi dapat meleleh
2. Karena VIM kecil, aspal menjadi rapuh. Lapis kedap air dan udara tidak dapat masuk ke dalam campuran.
3. VMA besar yang memungkinkan film aspal tebal, Kelelahan besar mungkin terjadi jika VMA dan VIM kecil dan kadar asal tinggi.

2.8.4 Ketahanan Terhadap Kelelahan (*Fatigue Resistance*)

Kemampuan beton aspal untuk menahan lendutan akibat beban konstan tanpa menyebabkan retak atau alur dikenal sebagai ketahanan terhadap kelelahan. Ketahanan terhadap kelelahan dipengaruhi oleh faktor-faktor berikut:

1. Kelelahan akan lebih cepat dengan VIM yang tinggi dan kadar aspal yang rendah.
2. Lapisan perkerasan dapat menjadi fleksibel karena VMA dan kadar asal yang tinggi.

2.8.5 Tahanan Geser/Kecepatan Terhadap *Slip* (*Skid Resistance*)

Koefisien gesek antara permukaan jalan dan roda kendaraan adalah ukuran kekesatan permukaan beton aspal yang digunakan untuk memberi roda kendaraan gaya gesek tanpa slip atau tergelincir. Ketahanan geser yang tinggi jika ada :

1. Menggunakan kadar aspal yang tepat untuk mencegah kelelahan.
2. Penerapan agregat pada permukaan kasar
3. Menggunakan agregat yang membentuk kubus.
4. Pemakaian jumlah agregat kasar yang cukup.

2.8.6 Kedap Air (*Impermeabilitas*)

Ketahanan beton aspal terhadap air memungkinkan air atau udara tidak masuk ke dalamnya. Selain menghapus lapisan film atau penutup agregat, air dan udara dapat mempercepat penuaan aspal. Setelah beton aspal dipadatkan banyak pori-pori yang timbul, ini menunjukkan seberapa banyak air ada dalam campuran. Keawetan beton aspal dikaitkan dengan tingkat impermeabilitasnya.

2.8.7 Kemudahan Pekerjaan (*Workability*)

Tingkat efisiensi kerja bergantung pada seberapa mudah penyebaran dan pemadatan campuran aspal beton dilakukan. Aspal viskositas, kepekaan terhadap suhu, dan kondisi agregat adalah beberapa faktor yang mempengaruhi kemudahan pengaplikasian dan pemadatan.

2.9 Sifat Volumetrik Dari Campuran Beton Aspal Yang Telah Dipadatkan

Beton aspal dibuat dengan mencampur aspal, agregat, dan atau tanpa bahan lain pada suhu tertentu menggunakan pencampur. Setelah campuran didistribusikan dan dipadatkan, dapat dilakukan analisis baik di laboratorium maupun di lapangan. Volumetriknya adalah sebagai berikut untuk campuran aspal beton padat:

1. Berat Jenis *Bulk* Agregat

Perbedaan massa bahan pada suhu dan volume tertentu di udara, termasuk rongga yang dapat menyerap air per satuan volume disebut berat jenis *bulk*. Massa air suling pada suhu dan volume tertentu juga disebut berat jenis *bulk*. Agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi membentuk agregat total.

2. Berat jenis efektif agregat

Massa bahan (tanpa rongga penyerap aspal) dan air suling pada suhu dan volume yang sama disebut berat jenis efektif.

3. Berat jenis maksimum campuran

Berat jenis efektif rata-rata dapat digunakan untuk menghitung berat jenis campuran maksimum dengan masing-masing kadar aspal.

4. Penyerapan aspal

Penyerapan aspal dihitung sebagai persen dari berat total agregat, bukan campuran.

5. Kadar aspal efektif

Kadar aspal efektif campuran beraspal dihitung dengan mengurangi kadar aspal total dari partikel agregat. Pada akhirnya, kinerja perkerasan awal dipengaruhi oleh kadar aspal yang menutupi permukaan agregat luar.

6. Rongga di antara mineral agregat (VMA)

Rongga di antara mineral agregat (VMA) adalah area yang ada di antara partikel agregat dalam perkerasan aspal. Meskipun volume aspal yang diserap agregat tidak termasuk dalam rongga ini, volume aspal efektif dan rongga udara semuanya termasuk.

VMA dapat dihitung terhadap berat campuran total atau terhadap berat agregat total. VMA juga dapat dihitung terhadap berat jenis *bulk* agregat dan ditunjukkan sebagai persen volume *bulk* agregat yang dipadatkan. Persamaan berikut dapat digunakan untuk menghitung VMA untuk campuran total :

a) Terhadap berat campuran total

$$VMA = 100 \times \frac{G_{mbs} \times P_s}{G_{sb}} \dots\dots\dots \text{Persamaan (2.2)}$$

b) Terhadap berat agregat total

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb}}{G_{sb}} \times \frac{100}{(100 + P_b)} \times 100 \dots\dots\dots \text{Persamaan (2.3)}$$

Keterangan :

VMA = rongga di antara agregat, persen volume *bulk*

G_{sb} = berat jenis *bulk* agregat

G_{mb} = berat jenis *bulk* campuran padat

ps = kadar agregat, persen terhadap berat total campuran

pb = kadar aspal, persen terhadap berat total campuran

7. Rongga di dalam campuran (VIM)

Karena ruang udara di antara artikel yang tertutup aspal, rongga terbentuk di dalam campuran perkerasan aspal (VIM).

8. Rongga terisi aspal (VFA)

Rongga yang terisi aspal adalah rongga di mana aspal ada di antara partikel agregat, dan aspal ini termasuk aspal yang diserap oleh agregat.

9. Vmb, merupakan volume *Bulk* dari beton aspal panas.

Parameter berikut biasanya digunakan:

1. VIM (*Void In Mix*)

VIM adalah sebutan untuk volume pori yang terbentuk setelah campuran aspal beton dipadatkan. VIM yang terlalu tinggi diperlukan ketika butiran agregat bergerak karena ditambah pemadatan disebabkan karena beban yang berulang atau ketika aspal melunak seiring dengan suhu. Ketika VIM yang terlalu rendah menyebabkan beton aspal padat kehilangan retensi air, yang menyebabkan aspal menjadi lebih tua dan kurang tahan. Jika VIM terlalu rendah, perkerasan akan meleleh saat suhu meningkat.

2. VMA (*Void In The Mineral Aggregate*)

Volume pori beton aspal (VMA) diukur ketika semua perkerasan aspal dihilangkan. Tidak semua agregat memiliki volume pori yang sama, dan VMA meningkat ketika perkerasan aspal yang tebal atau agregat yang digunakan dibuka.

3. VFA (*Volume of Voids Filled with Asphalt*)

Volume aspal yang masuk ke dalam pori beton aspal padat, lapisan aspal, atau ketebalan lapisan, adalah istilah yang sering digunakan untuk mengukur sifat beton aspal.

Vmb, merupakan volume total beton aspal padat

2.10 Density / Berat Isi

Ketumpatan campuran banyak faktor yang memengaruhinya, gradasi agregat, berat jenis agregat, dan prosedur pemadatan, termasuk suhu dan tenaga pemadatan, kadar aspal, dan kekentalan aspal. Disebabkan sifat saling mengunci antar butirannya yang lebih kedap terhadap udara dan air, campuran yang menyatu dengan sedikit rongga menunjukkan nilai *density* tinggi.

$$G_{mb} = \frac{Bk}{Bssd - Ba} \dots\dots\dots \text{Persamaan (2.4)}$$

Dengan :

- G_{mb} = berat jenis curah campuran
- Bk = berat kering beton aspal padat (gram)
- $Bssd$ = berat kering permukaan dari beton aspal yang telah dipadatkan (gram)
- Ba = berat beton aspal padat di dalam air (gram)
- $Bssd - Ba$ = volume *bulk* dari beton aspal padat, jika berat jenis air diasumsikan = 1
- $G_{mm} = \frac{100}{\frac{Ps}{Gse} + \frac{Pa}{Ga}} \dots\dots\dots \text{Persamaan (2.5)}$

Dengan :

- Pa = % kadar aspal terhaap berat beton aspal padat
- Ps = kadar agregat, % terhadap berat beton aspal padat
- G_{mm} = berat jenis campuran maksimum
- Ga = berat jenis aspal
- Gse = berat jenis efektif dari agregat pembentuk beton aspal padat
- $G_{sb} = \frac{P1+P2+P3+...Pn}{\frac{P1}{G1} + \frac{P2}{G2} + \frac{P3}{G3} + \dots + \frac{Pn}{Gn}} \dots\dots\dots \text{Persamaan (2.6)}$

Dengan :

- G_{bb} = berat jenis *bulk* agregat campuran
- p_1, p_2, \dots, p_n = presentase berat masing-masing fraksi agregat
- G_1, G_2, \dots, G_n = berat jenis *bulk* dari masing-masing fraksi agregat
- $G_{se} = \frac{100 - Pa}{\frac{100}{G_{mm}} - \frac{Pa}{Ga}} \dots\dots\dots \text{Persamaan (2.7)}$

2.11 Penyerapan Aspal (Aspal yang diserap agregat)

Persentase berat total total biasanya menunjukkan jumlah aspal yang diserap. Oleh karena itu, persamaan berikut ini menentukan jumlah aspal yang diserap agregat :

$$P_{babs} = \frac{(G_{se} - G_{sb}) \times G_{bt}}{G_{sb} \times G_{se}} \dots\dots\dots \text{Persamaan (2.8)}$$

Dengan :

- P_{babs} = banyaknya aspal yang terserap oleh agregat/penyerapan aspal
- G_{bt} = berat jenis aspal

2.12 Kadar Aspal Efektif Yang Menyelimuti Agregat

Kandungan keseluruhan dari campuran perkerasan jalan menyebabkan agregat menyerap lebih sedikit aspal dikenal sebagai kandungan aspal efektif, atau (P_{be}). Permukaan luar agregat akan ditutupi oleh komponen aspal efektif ini, yang akan menentukan kinerja campuran pada akhirnya. Persamaan berikut ini dapat digunakan untuk mendapatkan kadar aspal efektif :

$$P_{be} = P_b - \left(\frac{P_{ba}}{100}\right)P_s \dots\dots\dots \text{Persamaan (2.9)}$$

Dengan :

P_{be} = kadar aspal efektif, persen terhadap berat total campuran

P_{ba} = aspal yang terserap/penyerapan aspal, persen terhadap berat agregat

Kadar aspal tengah (P)

$$P = 0,035 (\%CA) + 0,045(\%FA) + 0,18(\%filler) + k \dots\dots\dots \text{Persamaan (2.10)}$$

Dengan :

P = kadar aspal tengah

CA = persen agregat tertahan saringan No. 8

FA = persen agregat lolos saringan No. 8 dan tertahan saringan No. 200

k = konstanta = 2,0 – 3,0 → (untuk Lataston)

2.13 Rongga Diantara Mineral Agregat (VMA)

VMA, sebagai persentase dari volume total yang dilaporkan, adalah ruang antara partikel agregat dalam campuran padat yang mencakup anatar rongga udara dengan kadar aspal efektif. VMA ditentukan sebagai persentase volume curah campuran padat yang didasarkan pada berat jenis agregat. Rumus berikut ini digunakan untuk mendapatkan VMA, ketika komposisi campuran diberikan dalam bentuk persentase berat dari campuran secara keseluruhan :

$$VMA = 100 - \left(\frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}}\right) \dots\dots\dots \text{Persamaan (2.11)}$$

Dengan :

G_{mb} = berat jenis curah campuran padat

Dalam kasus lain, jika komposisi campuran dihitung sebagai persen dari berat total, VMA dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb}}{G_{sb}} \times \frac{100}{100+P_b} 100 \dots\dots\dots \text{Persamaan (2.12)}$$

Dengan :

G_{sb} = berat jenis curah agregat

Atau, jika berat aspal dinyatakan sebagai persentase terhadap berat campuran, dimana

$P_s = P_{mm} - P_b$, maka :

$$VMA = (100 - \frac{G_{mb}}{G_{sb}} \times \frac{100}{100+Pa1} 100) \dots\dots\dots \text{Persamaan (2.13)}$$

2.14 Rongga Udara dalam Campuran Padat

Pada campuran padat, rongga udara VIM adalah celah kecil antara partikel agregat yang tertutup aspal. Rumus berikut ini digunakan untuk menentukan rongga udara:

$$VIM = (100 \times \frac{G_{mm}-G_{mb}}{G_{mm}}) \dots\dots\dots \text{Persamaan (2.14)}$$

Dengan :

VIM = Persentase ruang udara dalam campuran yang dipadatkan

VIM, yang direpresentasikan sebagai persentase dari volume curah campuran, adalah total volume udara di antara partikel agregat dan aspal dalam campuran yang dipadatkan.

2.15 Rongga Terisi Aspal dalam Campuran Padat (VFA)

Rongga udara terisi aspal (VFA) adalah persentase rongga di antara partikel agregat (VMA) yang terisi aspal. VFA dihitung dengan menggunakan rumus berikut ini dan diluar aspal yang terserap agregat :

$$VFA = \frac{100 (VMA-VIM)}{VMA} \dots\dots\dots \text{Persamaan (2.15)}$$

Dengan :

VFA = rongga terisi aspal, persen dari VMA

VMA = rongga dalam agregat mineral (persen volume curah)

Jumlah aspal efektif yang mengisi ruang-ruang di antara agregat mineral (VMA) dikenal sebagai VFA.

2.16 Tebal Selimut atau Film Aspal

Jumlah aspal yang meresap ke dalam pori-pori agregat dan jumlah aspal yang benar-benar menutupi agregat menentukan seberapa tebal selimut aspal. Karena aspal akan mengisi pori-pori di setiap butiran agregat (terserap ke dalam rongga agregat) pada campuran beton aspal yang tebal dengan rongga yang banyak, maka beton aspal akan menjadi kurang kuat dan selimutnya akan lebih tipis. Sebaliknya, jika terdapat sedikit rongga pada campuran beton aspal, maka tidak akan banyak aspal merserap masuk ke rongga agregat, sehingga akan menyebabkan *bleeding*, dan ukuran selimut aspal menjadi tebal.

Menurut (Sukirman, 2007), banyaknya asal yang terabsorbsi kurangi jumlah aspal dimasukkan ke dalam pori butiran agregat setelah dicampur dengan campuran beton aspal yang terserap dikenal sebagai kadar aspal efektif, atau P_{ab} . Jumlah aspal ini menutupi permukaan setiap butiran agregat. Ketebalan lapisan aspal atau selimut pada semua butir agregat meningkat dan meningkatnya kadar aspal efektif (P_{ab}) atau kadar aspal efektif, diberikan dengan persentase berat beton aspal padat.

$$P_{ab} = 100 \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb} \times G_{se}} G_a \dots \dots \dots \text{Persamaan (2.16)}$$

Dengan :

P_{ab} = kadar aspal yang terabsorbsi ke dalam pori butir agregat, % dari berat agregat

$$P_{ae} = P_a - \frac{P_{ab}}{100} P_s \dots \dots \dots \text{Persamaan (2.17)}$$

Dengan :

P_{ae} = kadar aspal efektif yang menyelimuti butir - butir agregat, % terhadap berat beton aspal padat

$$\text{Tebal selimut aspal} = \frac{P_{ae}}{G_a} \times \frac{1}{LP.P_s} 1000 \mu m \dots \dots \dots \text{Persamaan (2.18)}$$

Dengan :

LP = total luas permukaan agregat campuran beton aspal padat

2.17 Rumus-Rumus Untuk Menghitung Sifat-Sifat Agregat Campuran Aspal Panas

1. Analisa saringan

a. %tertahan = $\frac{\text{Kumulatif berat tertahan saringan}}{\text{Berat awal}} \times 100 \dots \dots \dots \text{Persamaan (2.19)}$

b. % lolos = 100% - kumulatif persen tertahan tiap saringan.. Persamaan (2.20)

2. Berat jenis dan penyerapan agregat kasar

a. Berat jenis kering (*bulk*) $= \frac{B_k}{B_j - B_a}$ Persamaan (2.21)

b. Berat jenis jenuh kering permukaan (SSD) $= \frac{B_j}{B_j - B_a}$ Persamaan (2.22)

c. Berat jenis semu (*Apparent*) $= \frac{B_k}{B_k - B_a}$ Persamaan (2.23)

d. Penyerapan air $= \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\%$.. Persamaan (2.24)

Dengan :

B_k = berat benda uji kering oven (gram)

B_j = berat benda uji permukaan jenuh (gram)

B_a = berat benda uji dalam air (gram)

3. Berat jenis dan penyerapan agregat halus

a. Berat jenis kering (*bulk*) $= \frac{B_k}{B_a + B_j - B_t}$ Persamaan (2.25)

b. Berat jenis jenuh kering permukaan (SSD) $= \frac{B_j}{B_a + B_j - B_t}$ Persamaan (2.26)

c. Berat jenis semu (*Apparent*) $= \frac{B_k}{B_a + B_k - B_t}$ Persamaan (2.27)

d. Penyerapan air $= \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\%$..Persamaan (2.28)

Dengan :

B_a = berat piknometer + air (gram)

B_j = berat piknometer + air + benda uji (gram)

4. Rumus *Filler* (P)

$P = 100 \left(\frac{d}{D} \right)^{0,45}$ Persamaan (2.29)

Dengan :

P = persentase lolos ayakan dengan bukaan ayakan d (mm).

d = ukuran agregat yang diukur dalam (mm)

D = ukuran agregat terbesar dalam kombinasi (mm)

5. Kadar lumpur

Kadar lumpur $= \frac{A - B}{B} \times 100\%$ Persamaan (2.30)

Dengan :

A = berat awal (gram)

B = berat kering (gram)

2.18 Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Parameter Marshall

Hubungan antara kadar aspal dan parameter Marshall, sering memiliki bentuk yang melengkung :

1. Stabilitas meningkat dengan peningkatan kadar aspal, tetapi setelah mencapai titik tertinggi, stabilitas akan menurun.
2. Dengan bertambahnya jumlah aspal, kelelahan atau *flow* juga akan meningkat.
3. Kurva berat volume dan kurva stabilitas adalah sama, namun untuk mendapatkan stabilitas maksimum, nilai maksimal dicapai ketika kadar aspal sedikit lebih tinggi daripada yang lain.
4. Kurva VIM pada akhirnya akan turun seiring dengan konsentrasi aspal ketika aspal mengisi celah dalam campuran.
5. Seiring dengan bertambahnya jumlah aspal, kurva VMA akan naik kembali sebelum turun hingga mencapai nilai minimal.
6. Karena lebih banyak aspal yang terisi dalam hal ini, kelengkungan VFA akan bertambah bersamaan dengan kadar aspal.

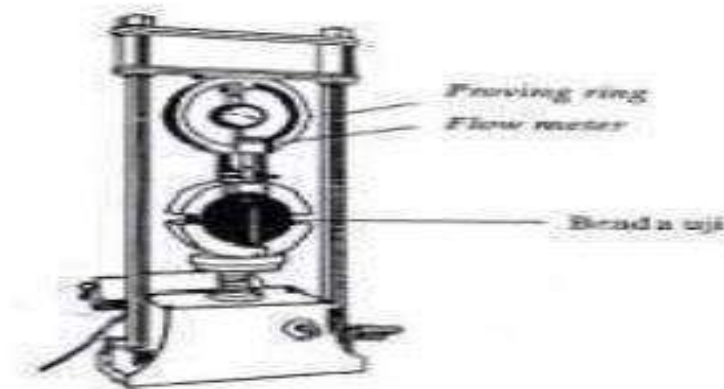
2.19 Metode Marshall

Bruce Marshall, seorang insinyur material aspal dari Departemen Jalan Raya Negara Bagian Mississippi, menciptakan metode uji Marshall. Selanjutnya, pada tahun 1984, Korps Teknik Angkatan Darat AS memodifikasi protokol pengujian dan menciptakan standar untuk pembuatan campuran pengujian. Standar ini kemudian dibakukan pada *American Society for Test and Materials* (ASTM D-1559) tahun 1989. Tes sekarang telah diadopsi oleh banyak pemerintah dan organisasi.

Jumlah akumulasi deformasi dari sampel yang dihancurkan, yang dikenal sebagai *Marshall Flow*, dan beban maksimal ditanggung oleh beton aspal padat sebelum runtuh, yang dikenal sebagai stabilitas Marshall, adalah dua karakteristik utama yang dievaluasi dalam pengujian ini. Nilai kekakuan pengembangan, telah menunjukkan kekuatan campuran terhadap deformasi yang tidak dapat dipulihkan, juga diperoleh dari keduanya. Faktor penting lainnya adalah analisis *Void* yang ditentukan oleh standar, salah satunya adalah *void* dalam agregat mineral (VAM), *void* dalam campuran (VIM), dan *void* terisi aspal (VFA) pada kondisi Marshall (2 x 50 tumbukan). Karena agregat dapat menahan lebih banyak air daripada aspal, kebanyakan agregat memiliki kapasitas yang jauh lebih

besar daripada aspal. Permukaan campuran aspal yang terpapar air dalam waktu yang lama juga dapat menyebabkan kegagalan pengawetan atau bahkan hilangnya daya ikat campuran aspal.

Tujuan dari uji rendaman Marshall, versi perbaikan dari uji Marshall sebelumnya, adalah untuk mengevaluasi seberapa baik campuran aspal dapat bertahan terhadap pengaruh suhu dan air (kerentanan suhu terhadap air). Ketahanan Marshall, yang juga dikenal sebagai ketahanan standar, dan indeks pengurangan stabilitas, terkadang dikenal sebagai ketahanan yang dimodifikasi, adalah dua metode yang digunakan untuk mengevaluasi ketahanan campuran aspal. Dasar untuk menilai berbagai modifikasi pada panjang redaman alat *Water Bath* adalah perbedaan antara keduanya. Pengujian durabilitas ini dilakukan sesuai dengan SNI M58 - 2990. Gambar 2.6 menunjukkan alat uji Marshall.



Gambar 2.6 Alat Marshall

Sumber : Sukirman, 2007

2.19.1 Parameter-Parameter Marshall

Tujuan dari uji Marshall adalah untuk mengidentifikasi sifat-sifat perkerasan lentur. Uji marshall termasuk stabilitas, aliran, MQ, VIM, VMA, dan VFA, serta parameter marshall.

a) Stabilitas

Kapasitas perkerasan untuk mendukung beban hingga mencapai kelelahan dikenal sebagai stabilitas.

Lapisan perkerasan memiliki kemampuan untuk menahan tekanan lalu lintas tanpa mengubah bentuk secara permanen, stabilitas perkerasan adalah ketika

perkerasan berubah menjadi gelombang, alur, atau *bleeding*. Lapis perkerasan menjadi kaku dan rentan terhadap keretakan karena nilai stabilitas terlalu tinggi.

b) Kelelahan (*flow*)

kelelahan (*flow*) mengacu pada kekuatan maksimum stabilitas benda uji yang telah mengalami kerusakan antara komponen materialnya.

c) *Marshall Quotient* (MQ)

Marshall Quotient (MQ) ukuran kemungkinan kelenturan terhadap keretakan, merupakan hasil bagi stabilitas dan *flow*. Untuk nilai *Marshall Quotient* diberikan dalam kg/mm.

d) Rongga dalam campuran / *Voids in Mix* (VIM)

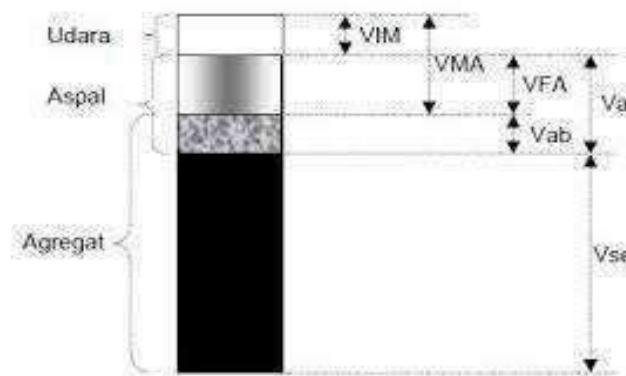
Persentase volume curah (VIM) menunjukkan jumlah udara total yang terperangkap di antara agregat dan aspal yang dipadatkan.

e) Rongga dalam agregat / *Voids in Mineral Agregate* (VMA)

VMA, yang ditunjukkan sebagai persentase volume keseluruhan spesimen, adalah volume ruang antara partikel pengisi campuran yang telah dipadatkan.

f) Rongga terisi campuran beraspal / *Void In Filled with asphalt* (VFA)

Area yang disebut VFA adalah area di antara partikel agregat dan VMA yang mengandung aspal yang telah diserap agregat.



Gambar 2.7 Skema Volume Beton Aspal

Sumber : Sukirman, 2003

2.20 Uji Marshall

Bruce Marshall menciptakan teknik Marshall, yang kemudian diperbaiki oleh *Corps of Engineers* Amerika Serikat. Uji Marshall digunakan untuk menentukan seberapa stabil campuran agregat dan aspal dalam kaitannya dengan kelelahan plastis, atau *flow*. Kelelahan plastis adalah tahap di mana campuran berubah bentuk akibat beban, hingga mencapai titik putus, yang diukur dalam mm atau 0,01.

Alat pengepres Marshall memiliki kemampuan beban 2500 kg (5000 lb) yang dilengkapi dengan cincin pengunci. Sebuah peralatan pengukuran yang bermanfaat untuk menentukan stabilitas campuran terpasang pada cincin pengunci. Sebuah *flowmeter* juga ada untuk mengukur aliran peleburan plastik. Dalam percobaan laboratorium, spesimen uji dibuat silinder dengan tinggi 7,5 cm dan diameter 10 cm dengan membebani palu dengan berat 10 pon (4,536 kg) kecepatan konstan 50 mm/menit, yang memiliki tinggi 18 inci (45,7 cm). Informasi berikut ini dikumpulkan ketika benda uji disiapkan untuk pemeriksaan alat *Marshall* :

1. Jumlah kadar aspal, diberikan dalam angka desimal, dengan satu angka setelah titik dua.
2. Berat volume, diukur dalam ton/m^3
3. Angka menunjukkan stabilitas. Kekuatan dan ketahanan alur ditentukan oleh stabilitas.
4. Hasil plastik (*flow*), diukur dalam mm atau mikron. Kelenturan dapat ditunjukkan melalui aliran.
5. Angka desimal dengan satu angka setelah koma disebut VIM, atau persentase rongga yang ada dalam campuran. VIM menunjukkan risiko *bleeding* dan daya tahan.
6. VMA, atau persentase rongga yang dinyatakan dalam bilangan bulat terhadap agregat. Daya tahan ditunjukkan oleh kombinasi VMA dan VIM.
7. Hasil bagi Marshall, juga dikenal sebagai hasil bagi aliran dan stabilitas atau koefisien Marshall. Ini adalah ukuran fleksibilitas dengan potensi retak yang dinyatakan dalam kN/mm .
8. Penyerapan aspal, dinyatakan sebagai persentase dari berat campuran, untuk memberikan perkiraan jumlah aspal yang digunakan.

9. Ketebalan, dinyatakan dalam milimeter, dari lapisan aspal (lapisan aspal). Kekuatan campuran dapat ditentukan dengan melihat lapisan aspal.

10. Kadar aspal efektif, satu angka setelah koma, dinyatakan dalam nilai desimal.

Berikut ini adalah pengujian Marshall secara garis besar :

1. mempersiapkan benda uji
2. Menghitung seberapa besar benda uji yang seharusnya
3. Analisis nilai stabilitas dan *flow*
4. menghitung sifat volumetrik dari benda uji

2.20.1 Persiapan Benda Uji

Apabila membuat benda uji, faktor-faktor berikut ini harus dipertimbangkan:

1. Berapa banyak benda uji yang perlu diproduksi
2. Menyiapkan agregat untuk digunakan
3. Menghitung suhu pemadatan dan pencampuran
4. Membuat campuran untuk beton aspal
5. Memeriksa pemadatan benda uji
6. Uji Marshall bersiap-siap

2.20.2 Penentuan Berat Jenis *Bulk* Dari Benda Uji

Saat benda uji beton aspal padat mencapai suhu ruang dan mendingin, berat jenis *bulk* diukur.

2.20.3 Pemeriksaan Nilai Stabilitas dan Flow

Dalam menentukan beban benda uji, stabilitas harus diperiksa. Selain itu, *flowmeter* mengukur seberapa besar tegangan merusak material. Spesimen dipanaskan dalam bak perendaman selama 30 hingga 40 menit dengan suhu 60°C untuk menentukan suhunya sesuai dengan suhu tertinggi di lapangan. Spesimen dibebani dengan kecepatan dua inci per menit saat diposisikan pada instrumen Marshall untuk mendapatkan pengukuran. Arloji pengukur pada *proving ring* mengukur beban pada saat terjadi kegagalan; *Flowmeter* mengukur deformasi saat itu juga. Untuk pembuktian menghasilkan nilai stabilitas maka nilai arloji pengukur dikalikan dengan nilai kalibrasi .

2.20.4 Perhitungan Parameter Marshall Lainnya

Dilakukan penghitungan untuk memastikan telah dilakukan pengujian Marshall :

1. Rasio nilai kelelahan terhadap stabilitas dikenal sebagai Kousien Marshall.

$$QM = \frac{S}{r} \dots\dots\dots \text{Persamaan (2.31)}$$

Untuk :

- S = nilai stabilitas (kg)
- r = nilai kelelahan (mm)
- QM = nilai *Marshall Quotient* (kg/mm)

2. Berat benda uji dalam volume
3. Volume pori pada benda uji (VIM)
4. Volume pori spesimen di antara agregat (VMA)
5. Volume aspal yang terisi di antara agregat (VFA)
6. Ketebalan selimut aspa

