

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1. Jenis Jenis Perkerasan

Campuran lapis aspal beton terdiri dari :

1. Agregat kasar (*Course Aggregate*)
2. Agregat halus (*Fine Aggregate*)
3. Bahan pengisi (*Filler*)
4. Aspal sebagai bahan pengikat.

##### 2.1.1 Agregat Kasar

Agregat kasar adalah agregat yang tertahan ayakan saringan no. 4 (4,75 mm) harus bersih, keras, awet dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya (Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2). Fungsi agregat kasar adalah untuk memberikan kekuatan campuran karena permukaannya yang kasar tidak bulat atau mempunyai bidang pecah, dapat menjadi pengunci yang baik dengan material lain. Agregat dasar terdiri dari batu pecah atau kerikil pecah.

Ketentuan yang harus dipenuhi oleh agregat menurut Spesifikasi Bina Marga dapat dilihat pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1 Ketentuan Agregat Kasar**

Pengujian		Metoda Pengujian	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan	natrium sulfat	SNI 3407:2008	Maks.12 %
	magnesium sulfat		Maks.18 %
Abrasi dengan mesin Los Angeles	Campuran AC Modifikasi dan SMA	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 *)
	Lainnya		95/90 **)
Partikel Pipih dan Lonjong	SMA	SNI 8287: 2016 Perbandingan 1 : 5	Maks. 5%
	Lainnya		Maks. 10%
Material lolos Ayakan No.200		SNI ASTM C117: 2012	Maks. 1%

Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 :

### 2.1.2 Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat yang terdiri dari pasir atau pengayakan batu pecah yang lolos saringan no. 4 (4,75 mm). Agregat halus harus merupakan bahan yang bersih, keras, bebas dari lempung, atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya.

Adapun ketentuan agregat halus menurut spesifikasi *Bina Marga* dapat dilihat pada Tabel 2.2.

**Tabel 2.2. Ketentuan Agregat Halus**

Pengujian	Metode Pengujian	Nilai
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 50%
Uji kadar rongga tanpa pemadatan	SNI 03-6877-2002	Min. 45
Gumpalan lempug dan butir-butir mudah pecah dalam agregat	SNI 03-4141-1996	Maks 1%
Agregat lolos ayakan No. 200	SNI ASTM CI 17: 2012	Maks. 10%

Sumber : Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2

### 2.1.3 Bahan Pengisi (*Filler*)

Bahan pengisi adalah butir-butir ukuran lebih kecil dari 0.075mm yang merupakan bagian butir batuan yang lolos saringan No. 200 mm. Menurut spesifikasi BinaMarga 2018, bahan pengisi harus memenuhi persyaratan :

1. Bahan pengisi yang ditambahkan (*filler added*) dapat berupa debu batu kapur (*limestone dust*), atau debu kapur padam atau debu kapur magnesium atau dolomit yang sesuai dengan AASHTO M303-89(2014), atau semen atau abu terbang tipe C dan F yang sumbernya disetujui oleh Pengawas Pekerjaan. Bahan pengisi jenis semen hanya diizinkan untuk campuran beraspal panas dengan bahan pengikat jenis aspal keras Pen.60-70.
2. Bahan pengisi yang ditambahkan harus kering dan bebas dari gumpalan-gumpalan dan bila diuji dengan pengayakan sesuai SNI ASTM C136: 2012 harus mengandung bahan yang lolos ayakan No.200 (75 mikron) tidak kurang dari 75 % terhadap beratnya
3. Bahan pengisi yang ditambahkan (*filler added*), untuk semen harus dalam rentang 1% sampai dengan 2% terhadap berat total agregat dan untuk bahan pengisi lainnya harus

dalam rentang 1% sampai dengan 3% terhadap berat total agregat kecuali SMA. Khusus untuk SMA tidak boleh menggunakan semen.

#### **2.1.3.1 Semen**

Sesuai dengan persyaratan SNI, 15-2049-2004 (semen portland) tipe I yaitu semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan -persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis - jenis lain. Semen Portland merupakan semen hidrolis artinya bahan pengikat ini akan mengeras jika bereaksi dengan air. Fungsi utama semen adalah mengikat butir - butir agregat hingga membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga-rongga udara di antara butir-butir agregat. Secara umum semen merupakan material perekat untuk kerikil (agregat kasar), pasir, batu bata, dan material sejenis lainnya. Bahan baku utama semen adalah bahan-bahan yang mengandung kapur (CaO), Silika (SiO<sub>2</sub>), alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), dan besi oksida (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

#### **2.1.3.2 Abu Batu bara (*Fly Ash*)**

##### **1. Pengertian Abu Batu bara (*Fly Ash*)**

*Fly ash* Batu bara adalah limbah industri yang dihasilkan dari pembakaran Batu bara dan terdiri dari partikel yang halus. Gradasi dan kehalusan fly ash Batu bara dapat memenuhi persyaratan gradasi AASTHO M17 untuk mineral filler. Penggunaan mineral filler dalam campuran aspal beton adalah untuk mengisi rongga dalam campuran, untuk meningkatkan daya ikat aspal beton, dan untuk meningkatkan stabilitas dari campuran. Dari penelitian tentang penggunaan fly ash Batu bara sebagai mineral filler untuk menggantikan filler bubuk marmer pada campuran aspal beton menunjukkan kadar optimum lebih rendah dari pada filler bubuk marmer, yaitu 3.5 % untuk filler fly ash Batu bara dan 4.5 % untuk filler bubuk marmer.

Menurut *ACI Committee 226* dijelaskan bahwa, fly-ash mempunyai butiran yang cukup halus, yaitu lolos ayakan N0. 325 (45 mili mikron) 5-27%, dengan specific gravity antara 2,15-2,8 dan berwarna abu-abu kehitaman. Sifat proses pozzolanic dari *fly-ash* mirip dengan bahan pozzolan lainnya. Menurut ASTM C.618 (*ASTM, 1995:304*) abu terbang (*fly-ash*) didefinisikan sebagai butiran halus residu pembakaran Batu bara atau bubuk Batu bara. *Fly-ash* dapat dibedakan menjadi dua, yaitu abu terbang yang normal yang dihasilkan dari pembakaran Batu bara antrasit atau Batu bara bitomius dan abu terbang kelas C yang dihasilkan dari Batu bara jenis lignite atau subbitumes. Abu terbang kelas C mengandung zat kimia SiO<sub>2</sub> sampai dengan 70%.

## 2. Limbah Padat Abu Terbang Batu bara ( Fly Ash)

Abu Batu bara sebagai limbah tidak seperti gas hasil pembakaran, karena merupakan bahan padat yang tidak mudah larut dan tidak mudah menguap sehingga akan lebih merepotkan dalam penanganannya. Apabila jumlahnya banyak dan tidak ditangani dengan baik, maka abu Batu bara tersebut dapat mengotori lingkungan terutama yang disebabkan oleh abu yang beterbangan di udara dan dapat terhisap oleh manusia dan hewan juga dapat mempengaruhi kondisi air dan tanah di sekitarnya sehingga dapat mematikan tanaman. Akibat buruk terutama ditimbulkan oleh unsur-unsur Pb, Cr dan Cd yang biasanya terkonsentrasi pada fraksi butiran yang sangat halus (0,5 — 10  $\mu\text{m}$ ). Butiran tersebut mudah melayang dan terhisap oleh manusia dan hewan, sehingga terakumulasi dalam tubuh manusia dengan konsentrasi tertentu dapat memberikan akibat buruk bagi kesehatan (*Putra,D.F. et al, 1996*). Abu terbang Batu bara umumnya dibuang di ash lagoon atau ditumpuk begitu saja di dalam area industri. Penumpukan abu terbang Batu bara ini menimbulkan masalah bagi lingkungan. Berbagai penelitian mengenai pemanfaatan abu terbang Batu bara sedang dilakukan untuk meningkatkan nilai ekonomisnya serta mengurangi dampak buruknya terhadap lingkungan. Saat ini abu terbang Batu bara digunakan dalam pabrik semen sebagai salah satu bahan campuran pembuat beton. Selain itu, sebenarnya abu terbang Batu bara memiliki berbagai kegunaan yang amat beragam:

1. Penyusun beton untuk jalan dan bendungan.
2. Penimbun lahan bekas pertambangan.
3. Recovery magnetic, cenosphere, dan karbon.
4. Bahan baku keramik, gelas, batu bata, dan refraktori.
5. Bahan penggosok (*polisher*).
6. Filler aspal, plastik, dan kertas.
7. Pengganti dan bahan baku semen.
8. Aditif dalam pengolahan limbah (waste stabilization).
9. Konversi menjadi zeolit dan adsorben.

### 3. Sifat Kimia dan Sifat Fisika *Fly Ash*

Komponen utama dari abu terbang Batu bara yang berasal dari pembangkit listrik adalah Silika ( $\text{SiO}_2$ ), Alumina, ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), Besi Oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), Kalsium ( $\text{CaO}$ ) dan sisanya adalah *Magnesium, Potasium, Sodium, Titanium* dan *Belerang* dalam jumlah yang sedikit.

**Tabel 2.4 Komposisi Kimia Abu Terbang Batu bara.**

Komponen	Bituminous (%)	Sub – Bituminous (%)	Lignite (%)
$\text{SiO}_2$	20-60	40-60	15-45
$\text{Al}_2\text{O}_3$	5-35	20-30	10-25
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	10-40	4-10	4-15
$\text{CaO}$	1-12	5-30	15-40
$\text{MgO}$	0-5	1-6	3-10
$\text{SO}_3$	0-4	0-2	0-10
$\text{Na}_2\text{O}$	0-4	0-2	0-6
$\text{K}_2\text{O}$	0-3	0-4	0-4
LOI	0-15	0-3	0-5

*Sumber wardani 2008*

Sifat kimia dari abu terbang Batu bara dipengaruhi oleh jenis Batu bara yang dibakar dan teknik penyimpanan serta penanganannya. Pembakaran Batu bara lignit dan *subbituminous* menghasilkan abu terbang dengan kalsium dan magnesium oksida lebih banyak dari pada jenis *bituminous*. Namun, memiliki kandungan Silika, Alumina, dan Karbon yang lebih sedikit dari pada Bituminous. Kandungan karbon dalam abu terbang diukur dengan menggunakan *Loss Of Ignition Method (LOI)*, yaitu suatu keadaan hilangnya potensi nyala dari abu terbang Batu bara. Abu terbang Batu bara terdiri dari butiran halus yang umumnya berbentuk bola padat atau berongga. Ukuran partikel abu terbang hasil pembakaran Batu bara bituminous lebih kecil dari 0,075 mm. Kerapatan abu terbang berkisar antara 2100 sampai 3000  $\text{kg/m}^3$  dan luas area spesifiknya (diukur berdasarkan metode permeabilitas udara Blaine) antara 170 sampai 1000  $\text{m}^2/\text{kg}$ , sedangkan ukuran partikel rata-rata abu terbang Batu bara jenis sub-bituminous 0,01mm— 0,015 mm, luas permukaannya 1-2  $\text{m}^2/\text{g}$ , massa jenis (*specific gravity*) 2,2 — 2,4 dan bentuk partikel mostly spherical, yaitu sebagian besar berbentuk seperti bola, sehingga menghasilkan kelecakan (*Workability*) yang lebih baik (*Nugroho, P dan Antoni, 2007*).

### 2.1.4 Aspal

Aspal di defenisikan sebagai material perekat, berwarna hitam atau coklat tua, dengan unsur utama bitumen (Zat perekat). Aspal adalah material yang padat temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat bersifat termosplastis, artinya aspal akan mencair jika dipanaskan sampai tempertur tertentu dan kembali membeku bila temperaturnya turun. Bahan pengikat yang dipergunakan adalah aspal keras denganpenetrasi 60 / 70 yang digunakan dapat dilihat pada tabel 2.5

**Tabel 2.5 Persyaratan Aspal Keras Pen 60/ 70**

No	Jenis Pengujian	Jenis Pengujian	Tipe I Aspal Pen.60-70	Tipe II Aspal Modifikasi	
				PG70	PG76
1	Penetrasi pada 25 C (0,1	SNI 2456:2011	60-70	Dilaporkan <sup>(1)</sup>	
2	Temperatur yang menghasilkan Geser osilasi 10 rad/detik kPa, (C)	SNI 06-6442-2000	-	70	76
3	Viskositas Kinematis 135 C (cSt) <sup>(3)</sup>	ASTM D2170-10	300	3000	
4	Titik Lembek ( C)	SNI 2434:2011	≥ 48	Dilaporkan <sup>(2)</sup>	
5	Daktilitas pada 25 C, (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100	-	
6	Titik Nyala ( C)	SNI 2433:2011	≥ 232	≥ 230	
7	Kelarutan dalam <i>Trichloroethylene</i> (%)	AASHTO T44-14	≥ 99	≥ 99	
8	Berat Jenis	SNI 2441:2011	≥ 1,0	-	
9	Stabilitas Penyimpanan: PerbedaanTitik Lembek ( C)	ASTM D 5976-00 Part 6.1 dan SNI 2434:2011	-	2,2	
10	Kadar Parafin Lilin (%)	SNI 03-3639-2002	≤ 2		
<b>Pengujian Residu hasil TFOT (SNI-06-2440-1991) atau RTFOT(SNI-03-6835-2002) :</b>					
11	Berat yang Hilang (%)	SNI 06-2441-1991	≤ 0,8	≤ 0,8	

12	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis osilasi rad/detik (C)	SNI 06-6442-2000	-	70	76
13	Penetrasi pada 25 C (% semula)	SNI 2456:2011	$\geq 54$	$\geq 54$	54
14	Daktilitas pada 25 C (cm)	SNI 2432:2011	$\geq 50$	$\geq 50$	$\geq 25$
<b>Residu aspal segar setelah PAV (SNI 03-6837-2002) pada temperatur 100°C dan tekanan 2,1 MPa</b>					
No	Jenis Pengujian	Jenis Pengujian	Tipe I Aspal Pen.60-70	Tipe II Aspal Modifikasi	
				PG70	PG76
15	Temperatur yang menghasilkan Geser osilasi 10 rad/detik kPa, (C)	SNI 06-6442-2000	-	31	34

Sumber : Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2

Pada pengujian — pengujian laboratorium, terutama untuk pengujian yang menggunakan metode Marshall penentuan kadar aspal dilakukan sebanyak 2 kali. Penentuan pertama adalah menentukan kadar aspal rencana atau tengah dengan menggunakan rumus yang bertujuan untuk membuat rancangan campuran sedangkan penentuan kedua adalah menentukan kadar aspal optimum.

## 2.2. Konstruksi Perkerasan Lentur

Perkerasan jalan harus memberikan rasa aman dan nyaman kepada pemakai jalan. Supaya perkerasan mempunyai daya dukung dan keawetan yang memadai tapi juga ekonomis, maka perkerasan jalan dibuat berlapis-lapis. Konstruksi perkerasan lentur terdiri dari :

1. Lapis permukaan (*Surface course*)
2. Lapisan pondasi atas (*Base course*)
3. Lapis pondasi bawah (*Subbase course*)
4. Lapis tanah dasar (*Subgrade*)

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

Lapis permukaan adalah bagian perkerasan yang paling atas. Fungsi lapis permukaan dapat meliputi :

#### 1. Struktural

Secara struktural fungsi lapis permukaan adalah ikut mendukung dan menyebarkan beban kendaraan yang diterima oleh perkerasan, baik beban vertikal maupun beban horizontal (gaya geser). Untuk hal ini persyaratan yang dituntut adalah kuat, kokoh, dan stabil.

#### 2. Non-struktural, dalam hal ini mencakup :

- a. Lapis kedap air, mencegah masuknya air ke dalam lapisan perkerasan yang ada di bawahnya.
- b. Menyediakan permukaan yang tetap rata, agar kendaraan dapat berjalan dan memperoleh kenyamanan yang cukup.
- c. Membentuk permukaan yang tidak licin, sehingga tersedia koefisien gerak (*Skid Resistance*) yang cukup untuk menjamin tersedianya kenyamanan lalu- lintas.
- d. Sebagai lapisan aus, yaitu lapisan yang dapat aus yang selanjutnya dapat diganti lagi dengan yang baru. Lapisan permukaan itu sendiri masih bisa dibagilagi menjadi dua lapisan lagi, yaitu :

#### 1. Lapis Aus (*Wearing Course*)

Lapis aus (*Wearing Course*) merupakan bagian dari lapis permukaan yang terletak di atas lapis antara (*Binder Course*).

Fungsi dari lapis aus adalah :

- a. Mengamankan perkerasan dari pengaruh air.
- b. Menyediakan permukaan yang halus.
- c. Menyediakan permukaan yang kesat.

#### 2. Lapis Antara (*Binder Course*)

Lapis antara (*Binder Course*) merupakan bagian dari lapisan permukaan yang terletak di atas lapis pondasi atas (*Base Course*) dengan lapis aus (*Wearing Course*).



Fungsi dari lapis antara adalah :

- a. Mengurangi tegangan,
- b. Menahan beban paling tinggi akibat beban lalu-lintas sehingga harus mempunyai kekuatan yang cukup.

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

Lapis pondasi atas adalah bagian dari perkerasan yang terletak antara lapis menggunakan lapis pondasi bawah atau dengan tanah apabila tidak menggunakan lapis pondasi bawah. Fungsi lapisan ini adalah :

1. Lapis pendukung bagi lapis permukaan.
2. Pemikul beban horizontal dan beban vertikal.
3. Lapis perkerasan bagi lapis pondasi bawah.

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

Lapis perkerasan yang terletak antara lapis pondasi atas dan tanah dasardinamakan lapisan pondasi bawah. Lapis pondasi ini berfungsi sebagai :

1. Bagian dari konstruksi perkerasan untuk menyebarkan beban roda ke tanah dasar. Lapisan ini cukup kuat.
2. Efisiensi penggunaan material material pondasi bawah relative murah di bandingkan dengan lapisan perkerasan di atasnya.
3. Mengurangi tebal lapisan di atasnya yang lebih mahal.
4. Lapis peresapan, agar air tanah tidak berkumpul di pondasi.
5. Lapisan ini mencegah partikel-partikel halus dari tanah dasar naik ke lapispondasi atas.

### **2.2.4. Tanah Dasar**

Tanah dasar (*Subbgrade*) adalah lapisan tanah asli, permukaan tanah galian atau permukaan tanah timbunan yang dipadatkan dan merupakan permukaan tanah dasar untuk perletakkan bagian-bagian perkerasan lainnya.

### **2.3. Lapis Aspal Beton (LASTON)**

Lapis aspal beton (*Laston*) yang selanjutnya disebut *AC (Asphalt Concrete)* merupakan suatu lapisan penutup pada konstruksi jalan yang mempunyai nilai struktural terdiri dari campuran agregat yang mempunyai gradasi menerus dengan aspal keras, dicampur, dihampar, dipadatkan dalam keadaan panas (Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2).

Laston terdiri dari tiga jenis campuran, yaitu *AC Lapis Aus (AC-WC)*, *AC Lapis antara (AC-BC)* dan *AC-Lapis Pondasi (AC-Base)* dan ukuran maksimum agregat masing-masing adalah 19 mm, 25.4 mm dan 35.7 mm. Adapun fungsi Laston yaitu :

1. Sebagai pendukung beban lalu-lintas
2. Sebagai pelindung konstruksi di bawahnya dari kerusakan akibat pengaruh air dan cuaca.
3. Sebagai Lapis Aus.
4. Menyediakan permukaan jalan yang rata.

Beberapa sifat Laston yaitu :

1. Tahan terhadap keausan akibat beban lalu-lintas.
2. Kedap air.
3. Mempunyai nilai struktural yang tinggi.
4. Mempunyai stabilitas yang tinggi.
5. Peka terhadap perencanaan pelaksanaan penyimpangan.

Sukirman (1999) menjelaskan bahwa laston dapat digunakan untuk jalan-jalan dengan beban lalu-lintas berat.

### **2.4. Lapis Aspal Beton *AC-WC***

Aspal beton campuran aspal panas merupakan suatu jenis lapis perkerasan konstruksi lentur. Jenis perkerasan ini merupakan campuran merata antara agregat dan aspal sebagai bahan pengikat pada suhu tertentu. Kontruksi perkerasan lentur terdiri dari lapisan — lapisan yang diletakan diatas tanah dasar yang telah dipadatkan. Lapisan — lapisan tersebut berfungsi untuk menerima beban lalu-lintas dan menyebarkan ke lapisan dibawahnya.

Pada saat pencampuran aspal beton ini, aspal keras perlu dipanaskan terlebih dahulu sampai mencapai suhu tertentu. Campuran beraspal panas terdiri atas kombinasi agregat. Aspal keras dan pengisi maupun bahan tambahan (Depertemen pekerjaan umum direktorat jendral bina marga ,2018). Kualitas beton aspal sangat tergantung pada bahan , susunan gradasi agregat, kadar aspal dalam campuran dan keseragaman, dalam campuran beraspal untuk memperbaiki mutu suatu campuran aspal serta meningkatkan kualitas aspal sehingga dapat menghasilkan permukaan perkerasan yang baik adalah dengan menggunakan bahan modifikasi (*Spesifikasi Bina Marga, 2018*).

Laston adalah suatu lapisan pada kontruksi jalan raya yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat yang bergradasi menerus, dicampur, dihamparkan dan dipadatkan dalam keadaan panas dan suhu tertentu. Laston brsifat kedap air, mempunyai nilai struktural, awet, kadar aspal berkisar 4 -7 % terhadap berat campuran dan dapat digunakan lalu-lintas ringan, sedang sampai berat. Campuran ini memiki tingkat kekakuantinggi. Karena itu bahan ini tidak cocok di letakan pada bagian yang fleksibel, seperti lapisan penetrasi. Tipe kerusakan yang umumnya terjadi pada lapisan ini adalah retak dan terlepasnya butiran. Hasil menunjukan bahwa campuran ini perlu perbaikan dalam hal kelenturan dan durabilitasnya (*Hardiyanto, 2007 pemeliharaan jalan raya*).

Salah satu produk yang digunakan oleh Depertemen dan prasarana Wilayah adalah *AC - WC* sebagai lapisan yang berhubungan langsung dengan Ban kendaraan dan dirancang untuk tahap terhadap perubahan cuaca, gaya geser, tekanan roda ban kendaraan serta memberikan lapis kedap air untuk lapisan dibawahnya dengan tebal perkerasan minimal 4 cm. Umumnya bersifat tahan beban serta mampu menyebarkan beban roda kendaraan kelapisan di bawahnya dan lebih kaya aspal (sekitar 5 - 6 %) di banding dengan lapisan di bawahnya.

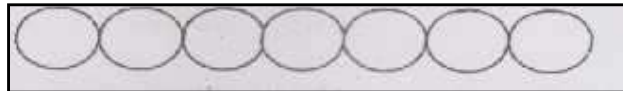
*AC - BC* Adalah Salah satu dari tiga macam campuran lapis aspal beton yaitu *AC - WC (Asphalt Concrete Wearing Course)* lapis aus yang langsung berhubungan dengan ban kendaraan dan merupakan lapisan yang kedap air dan tahan terhadap cuaca dan *AC — Base (Asphalt Concrete Base)* yaitu lapis aspal beton sebagai lapis pondasi . Ukuran Maksimum agregat masing — masing campuran adalah 25,4 mm, 19 mm, dan 37,5 mm. Ketika jenis laston tersebut merupakan konsep spesifikasi campuran aspal yangtelah disempurnakan oleh Bina Marga bersama dengan pusat Litbang jalan.

## 2.5. Gradasi Agregat

Gradasi agregat untuk campuran aspal yang digunakan terdiri dari 3 macam yaitu gradasi seragam, gradasi menerus, dan gradasi senjang.

### 1. Gradasi Seragam

Terdiri dari butir-butir agregat yang berukuran sama atau hampir sama. Agregat yang berukuran kecil sangat sedikit sehingga tidak mengisi rongga-rongga yang ada di antara material yang lebih besar.

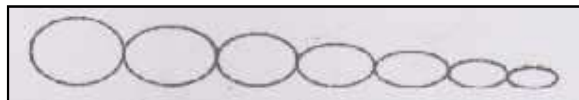


**Gambar 2.1 Agregat Bergradasi Seragam**

(Sumber Modifikasi dari Beton Buku Aspal Campuran Panas, Sukirman, 2007)

### 2. Gradasi Menerus

Gradasi jenis ini mempunyai semua ukuran dari yang paling besar sampai yang paling kecil, sehingga menyebabkan campuran akan jadi sangat padat terjadi saling mengunci antara butiran dengan baik. Sifat dari campuran jenis ini yaitu memiliki stabilitas yang tinggi, relatif kaku, mempunyai kekesatan yang tinggi.

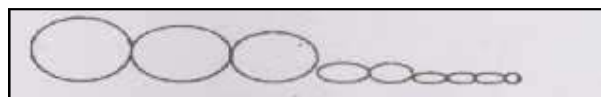


**Gambar 2.2 Agregat Bergradasi Menerus**

(Sumber Modifikasi dari Beton Buku Aspal Campuran Panas, Sukirman, 2007)

### 3. Gradasi Senjang

Gradasi senjang mempunyai ukuran butiran yang tidak menerus atau ada bagian ukuran yang tidak ada, jika hanya ada sedikit sekali. Campuran butiran ini mempunyai rongga yang besar antara butiran agregat sehingga aspal yang dipakai cukup banyak untuk mengisi rongga-rongga tersebut.



**Gambar 2.3 Agregat Bergradasi Senjang**

(Sumber Modifikasi dari Beton Buku Aspal Campuran Panas, Sukirman, 2007)

## 2.6. Gradasi Agregat Gabungan

Penggabungan agregat dimulai dengan menggabungkan agregat halus yang terdiri dari pasir, abu batu, dengan agregat kasar yaitu batu ukuran  $\frac{3}{4}$ " ,  $\frac{1}{2}$ " menjadi satu proporsi campuran. Gradasi agregat gabungan untuk campuran aspal, ditunjukkan dalam persen terhadap berat agregat dan bahan pengisi, harus memenuhi syarat-syarat yang diberikan dalam Tabel berikut. Rancangan dan perbandingan campuran untuk gradasi agregat gabungan harus memenuhi jarak terhadap batas-batas yang diberikan dalam Tabel 2.6

**Tabel 2.6 Gradasi Agregat untuk Campuran Aspal**

Sumber : Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2

Ukuran Ayakan		% Berat Yang Lolos terhadap Total Agregat							
		Stone Matrix Asphalt (SMA)			Lataston (HRS)		Laston (AC)		
ASTM	(mm)	Tipis	Halus	Kasar	WC	Base	WC	BC	Base
$1\frac{1}{2}$ "	37,5								100
1"	25			100				100	90 - 100
$\frac{3}{4}$ "	19		100	90 - 100	100	100	100	90 - 100	76 - 90
$\frac{1}{2}$ "	12,5	100	90 - 100	50 - 88	90 - 100	90 - 100	90 - 100	75 - 90	60 - 78
$\frac{3}{8}$ "	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 Bina Marga 2018 Revisi 2

## 2.7.Sifat Campuran Laston

Sifat-sifat campuran lapis aspal beton harus memenuhi persyaratan teknis seperti pada Tabel 2.7 berikut :

Tabel 2.7. Persyaratan Sifat Campuran Laston

Sifat-sifat Campuran		Laston		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Fondasi
Jumlahan tumbukan per		75		112
Rongga dalam campuran (%)	Min	3,0		
	Maks.	5,0		
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Min	15	14	13
Rongga Terisi Aspal (%)	Min	65		
Stabilitas <i>Marshall</i> (kg)	Min	800		1800
Pelelehan (mm)	Min	2		3
	Maks.	4		6

Sumber: Bina Marga 2018

## 2.8.Karakteristik Campuran Aspal Beton

### 2.8.1. Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu-lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang alur dan bleeding (*Silvia Sukirman Beton Aspal Campuran Panas*). Kebutuhan akan stabilitas sebanding dengan fungsi 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. Sebaliknya, perkerasan jalan yang dipergunakan untuk melayani lalu- lintas kendaraan ringan tentu tidak perlu mempunyai nilai stabilitas yang tinggi.

Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai stabilitas beton aspal adalah :

#### 1. Gesekan Internal

Gesekan internal dapat berasal dari kekerasan permukaan butir-butir agregat, luas bidang kontak antar butir atau bentuk butir, gradasi agregat,kepadatan campuran, dan tebal film aspal. Stabilitas terbentuk dari kondisigesekan internal yang terjadi di antara butir-butir agregat, saling mengunci, dan mengisi butir-butir agregat, dan masing-masing butir saling terikat, akibat gesekan antar butir-butir dan adanya aspal. Kadar aspal yang optimal akan memberikan nilai stabilitas yang maksimum.

## 2. Kohesi

Kohesi adalah gaya ikat aspal yang berasal dari daya lekatnya, sehingga mampu memelihara tekanan kontak antar butir agregat. Kohesi akan bergantung dari kekentalan (viskositas), kadar aspal dan temperatur. Nilai kohesi akan naik apabila viskositas aspal semakin tinggi. Kohesi suatu campuran juga akan naiknya kadar aspal yang dipakai, sampai suatu batas tertentu. Di luar batas tersebut, menambah jumlah kadar aspal akan menyebabkan tebal selimut aspal (film thickness) pada agregat yang berlebihan, akan menyebabkan kehilangan gesekan antar partikel (lose inter-particle friction).

### 2.8.2. Keawetan (*Durabilitas*)

Keawetan atau daya tahan merupakan kemampuan beton aspal untuk menerima repetisi beban lalu-lintas secara terus menerus, serta menahan keausan akibat cuaca dan iklim seperti udara, air dan perubahan temperatur. Faktor yang mempengaruhi durabilitas lapis aspal beton adalah :

1. Film aspal atau selimut aspal, yang tebal akan dapat menghasilkan lapis aspal beton yang berdurabilitas tinggi, tapi kemungkinan terjadi lapisan aspal meleleh keluar (*Bleending*) menjadi tinggi.
2. VIM (rongga antar campuran) kecil sehingga lapis kedap air dan udara tidak masuk ke dalam campuran yang dapat menyebabkan terjadinya oksidasi dan aspal menjadi rapuh.
3. VMA (*rongga antar butiran agregat*) besar, sehingga film aspal dapat dibuat tebal. Jika *VMA* dan *VIM* kecil serta kadar aspal tinggi, kemungkinan terjadinya *bleending* besar. Untuk mencapai *VMA* yang besar ini dipergunakan agregat bergradasi senjang.

### 2.8.3. Kelenturan (*Fleksibilitas*)

Kelenturan atau *fleksibilitas* adalah kemampuan beton aspal untuk menyesuaikan diri akibat penurunan pergerakan yang terjadi pada pondasi atau tanah dasar tanpa menimbulkan retak. Fleksibilitas dapat ditingkatkan dengan mempergunakan agregat senjang dengan kadar aspal yang tinggi.

#### **2.8.4. Tahanan Geser / Kekesatan (*SkidResistance*)**

Tahanan geser adalah kemampuan permukaan beton aspal terutama terhadap kondisi basah untuk memberikan gaya gesek pada roda sehingga kendaraan tidak mudah tergelincir atau selip. Faktor-faktor pendukung untuk mendapatkan tingkat kekesatan jalan yaitu kekasaran permukaan butir-butir agregat, luas bidang kontak antar butir atau bentuk agregat, kepadatan campuran, dan tebal film aspal. Ukuran maksimum butir agregat ikut menentukan kekesatan permukaan. Dalam hal ini, agregat yang digunakan tidak saja harus mempunyai permukaan yang kasar tapi juga mempunyai daya tahan agar permukaannya tidak mudah menjadi licin akibat repetisi kendaraan dengan kata lain penggunaan agregat kasar yang cukup.

#### **2.8.5. Ketahanan Terhadap Kelelahan (*Fatigue Resistance*)**

Ketahanan terhadap kelelahan adalah ketahanan lapis aspal beton dalam menerima beban berulang tanpa terjadinya kelelahan yang berupa alur dan retak. Hal ini dapat terjadi jika mempergunakan kadar aspal yang tinggi.

Faktor yang mempengaruhi ketahanan terhadap kelelahan adalah :

1. *VIM* yang tinggi dan kadar aspal yang rendah akan mengakibatkan kelelahan yang lebih cepat.
2. *VMA* yang tinggi dan kadar aspal yang tinggi dapat mengakibatkan lapis perkerasan menjadi fleksibel.

#### **2.8.6. Kedap Air (*Impermeabilitas*)**

Kedap air adalah kemampuan beton aspal untuk tidak dapat dimasuki air ataupun udara ke dalam lapisan aspal beton. Air dan udara dapat mengakibatkan proses penuaan aspal, pengelupasan film aspal dari permukaan agregat. Jumlah pori yang tersisa setelah beton aspal dipadatkan dapat menjadi indikator kedap air campuran.

#### **2.8.7. Mudah Dilaksanakan (*Workability*)**

Mudah dilaksanakan adalah kemampuan campuran beton aspal untuk mudah dihampar dan dipadatkan. Tingkat kemudahan dalam pelaksanaan menentukan tingkat efisiensi pekerjaan. Faktor yang mempengaruhi tingkat kemudahan dalam proses penghamparan dan pemadatan adalah viskositas aspal (kekentalan), kepekatan aspal



terhadap perubahan temperatur, gradasi serta kondisi agregat.

Ketujuh sifat campuran beton aspal ini tidak mungkin dapat dipenuhi sekaligus oleh satu jenis campuran. Sifat-sifat beton aspal mana yang dominan lebih diinginkan, akan menentukan jenis aspal yang dipilih.

### 2.8.8 Metode Marshall

Perencanaan campuran dengan metode marshall dimulai dari kadar aspal efektif yang tetap sesuai dengan yang telah ditetapkan dalam spesifikasi. Pencampuran agregat yang tersedia di lokasi divariasikan untuk dapat memenuhi syarat rongga udara, tebal selimut, stabilitas. Jadi pada metode ini rongga udara merupakan kriteria pokok bersama dengan kadar aspal efektif yang akhirnya menentukan tebal selimut aspal yang terjadi. Karena sifat tolak dari rongga udara dan selimut aspal maka campuran dengan metode ini mempunyai sifat durabilitas yang tinggi karenanya sering disebut sebagai campuran aspal dengan durabilitas tinggi.

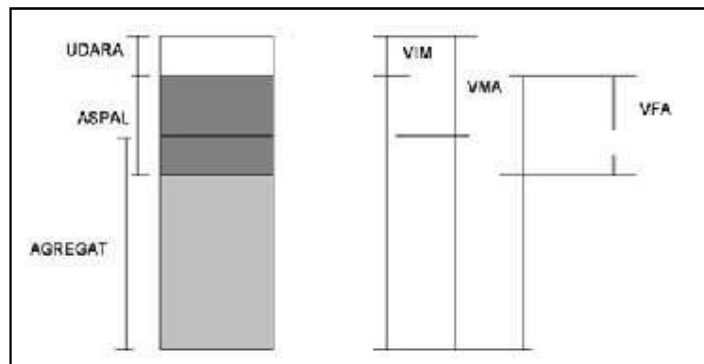
Alat *Marshall* merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan *proving ring* (cincin penguji). *Proving ring* dilengkapi dengan arloji pengukur yang berguna untuk mengukur stabilitas campuran. Di samping itu terdapat arloji kelelahan (*flow meter*) untuk mengukur kelelahan plastis (*flow*). Benda uji ini berbentuk silinder dengan diameter 10 cm dan tinggi 7.5 cm dipersiapkan di laboratorium, dalam cetakan benda uji dengan menggunakan *hammer* (penumbuk) dengan berat 10 pon (4.536 kg) dan tinggi jatuh 18 inci (45.7 cm) dibebani dengan kecepatan tetap 50 mm/menit.

Dari proses persiapan benda uji sampai pemeriksaan dengan alat *Marshall*, diperoleh data-data sebagai berikut :

1. Kadar Aspal, dinyatakan dalam bilangan desimal satu angka di belakang koma.
2. Berat volume, dinyatakan dalam  $\text{ton/m}^3$
3. *Stabilitas* dinyatakan dalam bilangan bulat. *Stabilitas* menunjukkan kekuatan, ketahanan terhadap terjadinya alur.
4. Kelelahan plastis (*flow*), dinyatakan dalam mm. *Flow*, dapat merupakan indikator terhadap lentur. *Flow* merupakan perubahan bentuk plastis dari beton aspal padat akibat adanya beban sampai batas keruntuhan.
5. *Marshall quotient*, merupakan perbandingan atau hasil bagi antara nilai stabilitas dan kelelahan. Dinyatakan dalam kN/mm. Merupakan indikator kelenturan yang

potensial terhadap keretakan.

6. *VIM (Void In Mix)*, persen rongga dalam campuran, dinyatakan dalam bilangan desimal satu angka belakang koma. *VIM* merupakan indikator dari durabilitas, kemungkinan *bleeding* (meleleh keluarnya aspal dari permukaan). *VIM* dibutuhkan sebagai tempat bergesernya butir-butir agregat akibat pemadatan tambahan yang terjadi oleh repetisi beban lalu- lintas atau tempat jika aspal menjadi lunak akibat meningkatnya temperatur. *VIM* yang terlalu besar akan mengakibatkan beton aspal padat berkurang kekedapan airnya sehingga berakibat meningkatnya proses oksidasi aspal yang dapat mempercepat penuaan aspal, menurunkan sifat durabilitas beton aspal sedangkan *VIM* yang terlalu kecil akan mengakibatkan perkerasan mengalami *bleeding* (meleleh keluar) jika temperatur meningkat.
7. *VMA (Void In The Mineral Aggregate)*, persen rongga terhadap agregat, dinyatakan dalam bilangan bulat. Merupakan indikator dari durabilitas juga.
8. *VFA*, volume pori beton aspal padat yang terisi oleh aspal atau volume film/selimut aspal.
9. Penyerapan aspal, persen terhadap berat campuran, sehingga diperoleh gambaran berapa kadar aspal efektifnya.
10. Kadar aspal efektif, dinyatakan dalam bilangan desimal satu angka di belakang koma.



**Gambar 2.4 Skema Volume Beton Aspal**

(Sumber Modifikasi dari Beton Buku Aspal Campuran Panas, Sukirman, 2007)

## 2.8. Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Parameter *Marshall*

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

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

## 2.9. Hubungan Antara *Filler* dengan Parameter *Marshall*

Penggunaan *filler* dalam campuran aspal beton sangat mempengaruhi karakteristik aspal beton tersebut, efek tersebut dapat dikelompokkan sebagai berikut :

1. Efek penggunaan *filler* terhadap Karakteristik Campuran
  - a. Filler terhadap kekentalan (*viscosity*) campuran :
    1. Efek penggunaan berbagai jenis *filler* terhadap viscositas campuran tidak sama.
    2. Luas permukaan *filler* yang semakin besar akan menaikkan viscositas campuran dibandingkan dengan yang berluas permukaan kecil.
  - b. Filler terhadap daktilitas dan penetrasi campuran :
    1. Kadar *filler* yang semakin tinggi akan menurunkan daktilitas, hal ini juga terjadi pada berbagai suhu
    2. Jenis *filler* yang akan menaikkan viscositas aspal, akan menaikkan penetrasi aspal.
  - c. Efek suhu dan pemanasan  
Jenis dan kadar *filler* memberikan pengaruh yang berbeda pada berbagai temperatur.

2. Efek penggunaan filler terhadap karakteristik campuran aspal beton. Kadar filler dalam campuran akan mempengaruhi dalam proses pencampuran, penghampanan, dan pemadatan. Selain itu, kadar dan jenis filler akan berpengaruh pada sifat elastik campuran dan sensitifitas terhadap air. Pemberian filler pada campuran lapis perkerasan mengalami berkurangnya kadar pori. Partikel filler menempati rongga di antarapartikel — partikel besar menjadi berkurang.

Secara umum penambahan filler ini bertujuan untuk menambah stabilitas serta kerapatan dari campuran. Bila dicampur dalam aspal, filler akan membentuk bahan pengikat yang berkonsistensi tinggi sehingga mengikat butir agregat secara bersama-sama. Kelompok mineral filler dalam campuran beton aspal yang mempunyai partikel dengan diameter yang lebih besar dari ketebalan selaput bitumen pada permukaan batuan akan memberikan pengaruh saling kunci antar agregat. Sedangkan kelompok yang lain, yaitu partikel yang mempunyai diameter lebih kecil dari selaput bitumen akan tersuspensi dalam selaput bitumen tersebut. Bagian mineral filler yang akan mempengaruhi perilaku sistem filler bitumen.

**2.10. Rumus-Rumus yang Digunakan Menghitung Campuran Aspal Panas**

1. Analisa Saringan

- a) Persen tertahan =  $\frac{\text{komulatif berat tertahan}}{\text{berat awal}} \times 100 \dots \dots \dots ( 2.1 )$
- b) Persen lolos = 100% - komulatif persen terhadap tiap saringan .....( 2.2 )

2. Berat jenis dan penyerapan agregat kasar

- a) Berat jenis kering (bulk) =  $\frac{Bk}{Bj - Ba} \dots \dots \dots (2.3)$
- b) Berat jenis jenuh keing permukaan (SSD) =  $\frac{Bk}{Bj - Ba} \dots \dots \dots (2.4)$
- c) Berat jenis semu (apparent) =  $\frac{Bk}{Bk - Ba} \dots \dots \dots (2.5)$
- d) Penyerapan air =  $\frac{Bj - Bk}{Bk} \dots \dots \dots (2.6)$

Dengan :            Bk = Berat benda uji kering oven (gram)  
                          Bj = Berat benda uji kering permukaan jenuh (gram)  
                          Ba = Berat benda uji dalam air (gram)

3. Berat jenis dan penyerapan agregat halus

a) Berat jenis kering (bulk) =  $\frac{Bk}{Ba+Bj+Bt}$  ..... (2.7)

b) Berat jenis jenuh kering permukaan ( SSD) =  $\frac{Bk}{Ba+Bj+Ba}$  ..... ( 2.8)

c) Berat jenis semu ( apperent ) =  $\frac{Bk}{Ba+Bk+Bt}$  ..... (2.9)

d) Penyerapan air =  $\frac{Bj-BK}{Bk} \times 100$  ..... (2.10)

Dengan : Ba = Berat piknometer + air (gram)

BA = Berta piknometer + air + benda uji (gram)

4. Berat jenis bulk / curah agregat campuran (Gsb)

$$Gsb = \frac{P1}{G1} + \frac{P2}{G2} + \frac{.....}{.....}, + \frac{Pn}{Gn} \dots \dots \dots (2.11)$$

Dengan :

Gsb = Berat Jenis Bulk / curah agregat campuran

P1, P2, ..., Pn = Presentasi berat masing-masing fraksi agregat terhadap berat total agregat campuran

G1, G2, ..., Gn = Berat jenis Bulk dari masing-masing fraksi agregat

5. Berat jenis semu (Gsa)

$$Gsa = \frac{P1}{G1} + \frac{P2}{G2} + \frac{...}{...} + \frac{Pn}{Gn} \dots \dots \dots (2.12)$$

Dengan :

Gsa = Berat Jenis Semu agregat campuran

G1, G2, ..., Gn = Berat jenis Bulk dari masing-masing fraksi agregat

6. Berat jenis efektif agregat campuran (Gse)

$$Gsa = \frac{100}{Gsa} - \frac{Pa}{Ga} \dots \dots \dots (2.13)$$

Dengan:

Gse = Berat jenis dari agregat pembentuk beton aspalpadat

Pa = % aspal, persen dari berat total campuran

Ga = Berat jenis aspal

100 = Berat beton aspal yang belum dipadatkan (gram)

7. Berat jenis campuran dengan perbedaan kadar aspal (Gmm)

$$Gse = \frac{Ps}{Gse} \frac{Pa}{Gs} \dots \dots \dots (2.14)$$

Dengan :

Gmm = Berat jenis maksimum dari beton aspal yang belum dipadatkan

Ps = % agregat, persen dari total campuran

8. Berat jenis contoh campuran padat (Gmb)

$$Gmb = \frac{Bk}{Bssd + Ba} \dots \dots \dots (2.15)$$

9. Penyerapan aspal (Pab)

$$Pab = 100 \frac{(Gse - Gsb)}{Gse \times Gse} Ga \dots \dots \dots (2.16)$$

Dengan :

Gse = Berat jenis dari agregat pembentuk beton aspal padat

Pab = kadar aspal yang terabsorpsi ke dalam butir agregat (%)

10. Kadar aspal efektif yang menyelimuti agregat (Pae)

$$Pae = Pa \frac{Pab}{100} \times Ps \dots \dots \dots (2.17)$$

Dengan :

Pae = Kadar aspal efektif yang menyelimuti butir-butir agregat (%)

11. Kadar aspal Tengah (P)

$$P = 0.035 (\%CA) + 0.045 (\%FA) + 0.18 (\% \text{ filler}) + K \quad (2.18)$$

Dengan :

P = Kadar aspal tengah

CA = Persen agregat tertahan saringan no. 8

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

K = Konstanta = 0.5 – 1.0

12. Volume pori dalam agregat campuran (VMA) sebagai presentasi dari beton aspal padat

$$VMA = \left(100 - \frac{Gmb \times Ps}{Gsb}\right) \dots \dots \dots (2.19)$$

Dengan :

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

Gmb = Berat jenis bulk beton aspal padat.

Bsb = Berat jenis bulk dari agregat pembentuk beton aspal padat

Ps = Kadar agregat, persen terhadap beton aspal padat.

13. Volume pori dalam agregat campuran (VMA) sebagai presentase dari berat agregat.

$$VMA = \left(100 - \frac{Gmb}{Gsb} \times \frac{100}{100+Pa}\right) \times 100\% \dots \dots \dots (2.20)$$

Dengan :

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

Gmb = Berat Jenis bulk beton aspal padat.

Bsb = Berat jenis bulk dari agregat pembentuk beton aspal padat

Ps = Kadar agregat, persen terhadap beton aspal padat.

14. Volumen pori dalam beton aspal padat (VIM)

$$VIM = \left(100 - \frac{Gmm \times Gmb}{Gmm}\right) \dots \dots \dots (2.21)$$

Dengan :

VIM = Volume pori dalam beton aspal padat (%).

Gmm = Berat Jenis maksimum dari beton aspal yang belum Dipadatkan.

Gmb = Berat jenis bulk beton aspal padat.

15. Rumus fuller (P)

$$P = 100 \left(\frac{d}{D}\right)^{0.45} \dots \dots \dots (2.22)$$

Dengan :

P = Persen lolos saringan dengan bukaan saringan dmm

D = Ukuran agregat yang diperiksa (mm)

D = Ukuran maksimum agregat yang terdapat dalam campuran  
S(mm)

16. Volume pori antar butir agregat yang terisi aspal (VFA)

$$VFA = 100 - \frac{(VMA \times VIM)}{VMA} \dots \dots \dots (2.23)$$

Dengan :

VFA = Volume pori antar butir agregat yang terisi aspal, % dari VMA

VMA = Volume pori antar agregat, di dalam beton aspal padat, % dari volume bulk beton aspal padat

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

17. Keausan agregat kasar

$$Keausan = \frac{(a - b)}{1000} \times 100\% \dots \dots \dots (2.24)$$

Dengan :

a = berat benda uji semula (gram)

b = berat benda uji tertrahan no.12 (gram)