

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Beton Aspal

Beton Aspal (*Hotmix*) 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 (Silvia Sukirman, 2003). 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 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. Penggunaan AC-WC yaitu untuk lapis permukaan (paling atas) dalam perkerasan dan mempunyai tekstur yang paling halus dibandingkan dengan jenis *Asphalt Concrete* lainnya.

Terdapat tujuh karakteristik campuran yang harus dimiliki oleh beton aspal adalah stabilitas, keawetan, kelenturan atau *fleksibilitas*, ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue resistance*), kekesatan permukaan atau ketahanan geser, kedap air dan kemudahan pelaksanaan (*workability*). Di bawah ini adalah penjelasan dari ketujuh karakteristik tersebut: (Silvia sukirman,2003)

A. Stabilitas

yaitu kekuatan dari campuran aspal untuk menahan deformasi akibat beban tetap dan berulang tanpa mengalami keruntuhan (*plastic flow*). Jalan dengan volume lalu lintas tinggi dan sebagian besar merupakan kendaraan berat menuntut stabilitas yang lebih besar dibandingkan dengan jalan yang volume lalu lintasnya hanya terdiri dari kendaraan penumpang saja. Stabilitas terjadi dari hasil geseran antar butir, penguncian antar partikel dan daya ikat yang baik dari lapisan aspal. Dengan demikian stabilitas yang tinggi dapat diperoleh dengan mengusahakan pengunaan antaralain: agregat bergradasi baik, rapat, dan mempunyai rongga antar butiran agregat (VMA) yang kecil. Namun VMA yang kecil maka pemakaian aspal yang banyak akan menyebabkan terjadinya *bleeding* karena aspal tidak dapat menyelimuti agregat dengan baik.

B. Durabilitas

yaitu ketahanan campuran aspal terhadap pengaruh cuaca, air, perubahan suhu, maupun keausan akibat gesekan roda kendaraan. Durabilitas beton aspal dipengaruhi oleh tebalnya film atau selimut aspal, banyaknya pori dalam campuran, kepadatan dan kedap airnya campuran. Besarnya pori yang tersisa dalam campuran setelah pemadatan, mengakibatkan durabilitas beton aspal menurun. Semakin besar pori yang tersisa semakin tidak kedap air dan semakin banyak udara didaalam beton aspal, yang menyebabkan semakin mudahnya selimut aspal beroksidasi dengan udara dan menjaadi getas, dan durabilitasnya menurun. Untuk mencapai ketahanan yang tinggi diperlukan rongga dalam campuran (VIM) yang kecil, sebab dengan demikian udara tidak (atau sedikit) masuk kedalam campuran yang dapat menyebabkan menjadi rapuh. Selain itu diperlukan juga VMA yang besar, sehingga aspal dapat menyelimuti agregat lebih baik.

C. Fleksibilitas (kelenturan)

yaitu kemampuan lapisan untuk dapat mengikuti deformasi yang terjadi akibat beban lalu lintas berulang tanpa mengalami retak (*fatigue cracking*) ataupun penurunan akibat berat sendiri tanah timbunan yang dibuat di atas tanah asli. Untuk mencapai kelenturan yang tinggi diperlukan VMA yang besar, *VIM*

yang kecil, dan pemakaian aspal dengan penetrasi tinggi ataupun dengan mempergunakan agregat bergradasi terbuka.

D. Kekesatan (*skid resistance*)

Yaitu kemampuan perkerasan aspal memberikan permukaan yang cukup kesat sehingga kendaraan yang melaluinya tidak mengalami slip, baik diwaktu jalan basah maupun kering. Faktor-faktor untuk mendapatkan kekesatan jalan sama dengan untuk mendapatkan stabilitas yang tinggi, yaitu kekasaran permukaan dari butir-butir agregat, luas bidang kontak antar butir atau bentuk butir, gradasi agregat, kepadatan campuran, dan tebal film aspal. Ukuran maksimum butir agregat ikut menentukan kekesatan permukaan. Untuk mencapai kekesatan yang tinggi perlu pemakaian kadar aspal yang tepat sehingga tidak terjadi *bleeding*, dan penggunaan agregat kasar yang cukup.

E. Kedap air (*impremeabilitas*)

Yaitu kemampuan beton aspal untuk tidak dimasuki air ataupun udara kedalam lapisan beton aspal. Air dan udara dapat mengakibatkan percepatan proses penuaan aspal, dan pengelupasan film/ selimut aspal dari permukaan agregat. Jumlah pori yang tersisa setelah beton aspal dipadatkan dapat menjadi indikator kededapan air campuran. Tingkat impremeabilitas beton aspal berbanding terbalik dengan tingkat durabilitasnya.

F. Ketahanan leleh (*fatigue resistance*)

yaitu kemampuan aspal beton untuk mengalami beban berulang tanpa terjadi kelelahan berupa retak atau kerusakan alur (*rutting*).

G. Workabilitas

yaitu kemudahan campuran aspal untuk diolah. Faktor yang mempengaruhi workabilitas antara lain gradasi agregat, dimana agregat yang bergradasi baik lebih mudah dikerjakan, dan kandungan *filler*, dimana *filler* yang banyak akan mempersulit pelaksanaan.

Ketujuh sifat campuran beton aspal ini tidak mungkin dapat dipenuhi keseluruhannya oleh satu jenis campuran. Sifat-sifat dari ketujuh beton aspal ini mana yang ingin lebih dominan lebih diinginkan, dan akan menentukan jenis beton

aspal yang dipilih. Hal ini harus diperhatikan ketika merancang tebal perkerasan jalan, karena harus menyesuaikan dengan jenis jalan yang akan direncanakan.

2.2 Bahan Campuran Beton Aspal

Campuran beton aspal adalah kombinasi material bitumen dengan agregat yang merupakan permukaan perkerasan yang biasa dipergunakan akhir-akhir ini. Karakteristik campuran diperoleh melalui analisis hasil rancangan dan pengujian yang dilakukan selama pencampuran material dan pemadatan. Material aspal dipergunakan untuk semua jenis jalan raya dan merupakan salah satu bagian dari lapisan beton aspal jalan raya kelas satu hingga di bawahnya. Material bitumen adalah *hidrokarbon* yang dapat larut dalam *karbon disulfat*. Material tersebut biasanya dalam keadaan baik pada suhu normal dan apabila kepanasan akan melunak atau berkurang kepadatannya. Ketika terjadi pencampuran antara agregat dengan bitumen yang kemudian dalam keadaan dingin, campuran tersebut akan mengeras dan akan mengikat agregat secara bersamaan dan membentuk suatu lapis permukaan perkerasan (Rian Putrowijoyo,2006).

Tabel 2.1. Ketentuan sifat-sifat Campuran Beton Aspal

Sifat-sifat Campuran		Asphalt Concrete					
		WC		BC		Base	
		Halus	Kasar	Halus	Kasar	Halus	Kasar
Kadar aspal efektif	Min.	5,1	4,3	4,3	4	4	3,5
Penyerapan aspal, %	Maks.	1,2					
Jumlah tumbukan perbidang		75				112 ⁽¹⁾	
Rongga dalam campuran (VIM) % (²)	Min.	3					
	Maks.	5					
Rongga dalam agregat (VMA) %	Min.	15		14		13	
Rongga terisi aspal (VFB) %	Min.	65		63		60	
Stabilitas Marshall, Kg	Min.	800				1800 ⁽¹⁾	
Pelelehan, mm	Min.	3				4,5 ⁽¹⁾	
<i>Marshall Quotient</i> , kg/mm	Min.	250				300	
Stabilitas <i>Marshall</i> sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C (³)	Min.	90					
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (<i>refusal</i>) ⁽⁴⁾	Min.	2					

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Devisi 6 Perkerasan Aspal

Catatan :

1. Modifikasi *Marshall*, diameter cetakan benda uji 152,4 mm. Untuk kondisi kepadatan mutlak digunakan alat penumbuk getar agar terhindar dari kemungkinan adanya agregat yang pecah.
2. Untuk menentukan kepadatan membal (*refusal*), penumbuk bergetar (*vibratory hamer*) disarankan digunakan untuk menghindari pecahnya butiran agregat dalam campuran. Jika digunakan penumbukan manual jumlah tumbukan perbidang harus 600 untuk cetakan berdiameter 6 inch dan 400 untuk cetakan berdiameter 4 inch.
3. Berat jenis efektif agregat dihitung berdasarkan pengujian berat jenis maksimum agregat (Gmmtest, AASHTO T-209).
4. Direksi pekerjaan dapat menyetujui prosedur pengujian AASHTO T.283 sebagai alternatif pengujian kepekaan kadar air. Pengondisian beku cair

(*freeze thaw conditioning*) tidak diperlukan. Standar minimum untuk diterimanya prosedur T.283 harus 80% kuat tarik sisa.

Tabel 2.2. Ketentuan sifat-sifat Campuran Beton Aspal Dengan Asbuton

Sifat-sifat Campuran		Asphalt Concrete		
		WC	BC	Base
		Mod	Mod	Mod
Penyerapan aspal, %	Maks.	1,7		
Jumlah tumbukan perbidang		75	112	
Rongga dalam campuran (VIM) %	Min.	3,5		
	Maks.	5,5		
Rongga dalam agregat (VMA) %	Min.	15	14	13
Rongga terisi aspal (VFB) %	Min.	65	63	60
Stabilitas Marshall, Kg	Min.	1000		1800
Pelelehan, mm	Min.	3		5
<i>Marshall Quotient</i> , kg/mm	Min.	300		500
Stabilitas <i>Marshall</i> sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C	Min.	80		
Rongga dalam campuran pada kepadatan membal (refusal),%	Min.	2,5		

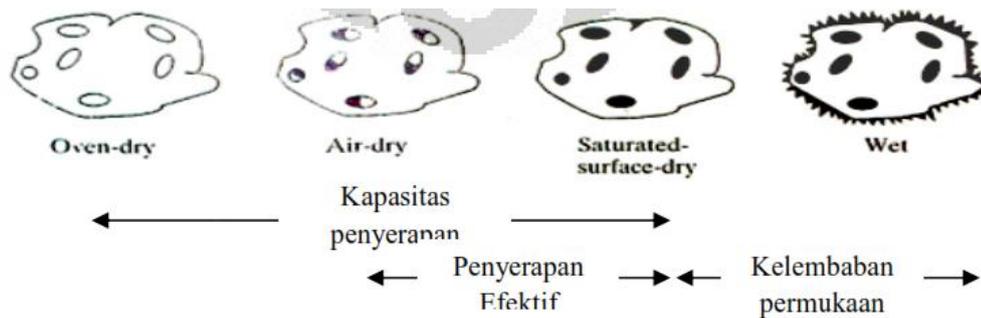
Sumber: Pedoman Pemanfaatan Asbuton Departemen Pekerjaan Umum Bina Marga, 2006

A. Agregat

(Menurut Silvia Sukirman, 2003), agregat merupakan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lain, baik yang berasal dari alam maupun buatan yang berbentuk mineral padat berupa ukuran besar maupun kecil atau fragmen-fragmen. Agregat merupakan komponen utama dari struktur perkerasan perkerasan jalan, yaitu 90 – 95% agregat berdasarkan persentase berat, atau 75 – 85% agregat berdasarkan persentase volume. Dengan demikian kualitas perkerasan jalan ditentukan juga dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain.

Sifat agregat merupakan salah satu penentu kemampuan perkerasan jalan memikul beban lalu lintas dan daya tahan terhadap cuaca. Yang menentukan kualitas agregat sebagai material perkerasan jalan adalah: gradasi, kebersihan, kekerasan, ketahanan agregat, bentuk butir, tekstur permukaan, porositas,

kemampuan untuk menyerap air, berat jenis, dan, daya kelekatan terhadap aspal. Butiran agregat dapat menyerap air dan menahan lapisan air tipis dipermukaannya. Berdasarkan kemampuan tersebut, agregat dapat dibagi kedalam 4 kondisi kelembaban seperti terlihat pada gambar 2.1.



Sumber: Gloria patricia manurung, Universitas Indonesia,2012

Gambar 2.1 Kondisi Kelembaban Agregat

Keterangan:

1. *Oven-dry* (OD), partikel tidak lagi memiliki kelembaban karena proses pemanasan oven pada suhu $100\pm 5^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap. Seluruh pori tidak berisi.
2. *Air-dry* (AD), seluruh partikel air telah dihilangkan dari permukaan agregat, akan tetapi bagian dalam butiran terisi air sebagian.
3. *Saturated-surface-dry* (SSD). Seluruh pori partikel telah terisi air, dengan permukaan yang kering.
4. Basah, seluruh pori agregat dan permukaannya dilapisi oleh air.

Berdasarkan gambar 2.1 dapat disimpulkan bahwa kapasitas penyerapan agregat adalah jumlah maksimum air yang dapat diserap partikel agregat dimana penyerapan adalah perbandingan perubahan berat agregat karena penyerapan air oleh pori-pori dengan berat agregat pada kondisi kering, yang didapat dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Penyerapan agregat kasar} = \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 10\% \dots \dots \dots (2.1)$$

$$\text{Penyerapan agregat halus} = \frac{B_s}{(B + B_s - B_t)} \times 10\% \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan	:
B	: Berat piknometer berisi air,(gram)
Bt	: Berat piknometer berisi benda uji dan air,(gram)
Bs	: Berat <i>sample</i> ,(gram)
Bj	: Berat sample kering permukaan jenuh
Bk	: berat sample kering oven

Berdasarkan kondisi kelembaban agregat, pemeriksaan fisik terhadap agregat yaitu pemeriksaan berat jenis yang dibagi kedalam 3 kondisi kelembaban agregat yaitu BJ curah/ *Bulk*, Bj SSD, dan BJ Semu. Pemeriksaan berat jenis agregat berdasarkan perbandingan berat karena lebih teliti, yang nantinya hasil dari pengukuran berat jenis tersebut digunakan sebagai perencanaan campuran agregat dengan aspal. Adapun macam-macam dari berat jenis agregat sebagai berikut:

1. Berat Jenis Curah (*Bulk Specific Gravity*)

Adalah berat jenis yang diperhitungkan terhadap seluruh volume pori yang ada, berat jenis curah dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Berat Jenis } Bulk \text{ agregat kasar} = \frac{Bk}{(Bj - Ba)} \dots\dots\dots(2.3)$$

$$\text{Berat Jenis } Bulk \text{ agregat halus} = \frac{Bk}{(B + Bs - Bt)} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan :

Bk	: Berat benda uji kering oven,(gram)
Bs	: Berat <i>sample</i> ,(gram)
Bt	: Berat piknometer berisi benda uji dan air,(gram)
Bj	: Berat sample kering permukaan jenuh,(gram)
Ba	: Berat uji kering-permukaan jenuh di dalam air,(gram)

2. Berat jenis Kering permukaan jenuh (SSD)

Adalah berat jenis yang memperhitungkan volume pori yang hanya diresapi oleh aspal ditambah dengan volume partikel, yang dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Berat jenis SSD agregat kasar} = \frac{Bj}{(Bj - Ba)} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$\text{Berat jenis SSD agregat halus} = \frac{B_s}{(B+B_s-B_t)} \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan :

- B_s : Berat sample,(gram)
 B : Berat piknometer berisi air,(gram)
 B_t : Berat piknometer berisi benda uji dan air,(gram)
 B_j : Berat sample kering permukaan jenuh,(gram)
 B_a : Berat uji kering-permukaan jenuh di dalam air,(gram)

3. Berat jenis semu

Adalah berat jenis yang memperhitungkan volume partikel saja tanpa memperhitungkan volume pori yang dapat dilewati air. Persamaan yang digunakan dalam perhitungan berat jenis semu sebagai berikut:

$$\text{Berat Jenis Semu agregat kasar} = \frac{B_k}{(B_k-B_a)} \dots\dots\dots(2.7)$$

$$\text{Berat Jenis Semu agregat halus} = \frac{B_k}{(B+B_k-B_t)} \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan :

- B_k : Berat benda uji kering oven,(gram)
 B : Berat piknometer berisi air,(gram)
 B_t : Berat piknometer berisi benda uji dan air,(gram)
 B_a : Berat uji kering-permukaan jenuh di dalam air,(gram)

Pemeriksaan lain terhadap agregat adalah kekuatan. Kekuatan dibutuhkan untuk mencegah partikel rusak saat proses pemadatan campuran aspal panas, dan juga saat menerima beban kendaraan. Solusi yang dapat digunakan saat kekuatan agregat bernilai kecil adalah menggunakan agregat bergradasi rapat. Agregat juga harus tahan terhadap keausan/abrasi akibat beban lalu lintas. Ketahanan terhadap keausan menyatakan kekerasan butiran agregat. Tes terhadap keausan dilakukan dengan tes abrasi *Los Angeles* (SNI 03-2417-1991). Batas keausan maksimum berdasarkan tes abrasi dengan mesin *Los Angeles* adalah 40%.

Berikut klasifikasi dan persyaratan agregat kasar, halus dan *filler* yang digunakan dalam campuran aspal:

a. Agregat kasar;

Fraksi agregat kasar untuk rancangan adalah yang tertahan saringan No.4 (4,75 mm) dan haruslah bersih, keras, awet dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya dan memenuhi persyaratan pada tabel 2.3. 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 slip (*skid resistance*) yang tinggi sehingga menjamin keamanan lalu lintas. 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.

Tabel 2.3. Persyaratan Agregat Kasar

Jenis Pemeriksaan	Metode Pengujian	Persyaratan
Berat Jenis <i>Bulk</i>	SNI 03-1969-1990	Min. 2,5
Berat Jenis SSD		
Berat Jenis Semu		
Penyerapan, %	SNI 03-1969-1990	Maks. 3%
Abrasi dengan mesin <i>Los Angeles</i>	SNI 03-2417-2008	Maks.40%
Material lolos Saringan No.200	SNI 03-1968-1990	Maks 1%

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Devisi 6 Perkerasan Aspal

b. Agregat halus

Agregat halus dari sumber bahan manapun, harus terdiri dari pasir atau penyaringan batu pecah dan terdiri dari bahan yang lolos saringan No.4 (4,75 mm) dan tertahan saringan No.200 (0,075) sesuai SNI 03-6819-

2002. Fungsi utama agregat halus ialah 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 bentuk menyudut (*angularity*) dan kekasaran permukaan butiran (*particle surface roughness*). Agregat halus harus merupakan bahan yang bersih, keras, bebas dari lempung, atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya. Agregat halus harus memenuhi ketentuan sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4. Persyaratan Agregat Halus

Jenis Pemeriksaan	Metode Pengujian	Persyaratan
Berat Jenis <i>Bulk</i>	SNI 03-1969-1990	Min. 2,5
Berat Jenis SSD		
Berat Jenis Semu		
Penyerapan, %	SNI 03-1969-1990	Maks. 3%
Kadar Lempung	SNI 03-4142-2008	Maks 1%

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Devisi 6 Perkerasan Aspal

c. Bahan pengisi (*Filler*)

Filler yang artinya sebagai bahan pengisi dapat dipergunakan debu, batu kapur, debu kapur padam, semen atau mineral yang berasal dari asbuton yang sumbernya disetujui oleh direksi pekerjaan. Jika digunakan aspal modifikasi dari jenis asbuton yang diproses maka bahan pengisi (*filler*) yang ditambahkan haruslah berasal dari mineral yang diperoleh dari asbuton tersebut. Bahan pengisi harus bebas dari gumpalan-gumpalan dan jika pengujian analisa saringan sesuai SNI 03-4142-1996 harus lolos dari saringan no 200 (0,075 mm) tidak kurang dari 75%, kecuali untuk mineral asbuton. Fungsi dari *filler* adalah untuk saling mengikat diantara agregat agar membentuk suatu kesatuan yang kokoh dan solid yang kemudian

diikat oleh aspal sesuai proporsi. *Filler* harus memenuhi ketentuan sebagaimana ditunjukkan pada tabel 2.5.

Tabel 2.5. Persyaratan *Filler*

No	Jenis Pemeriksaan	Metode Pengujian	Persyaratan
1	Lolos saringan no.200 (0,075 mm)	SNI 03-1968-1990	Min 75%
2	Berat Jenis	SNI 03-2531-1991	3,0-3,2

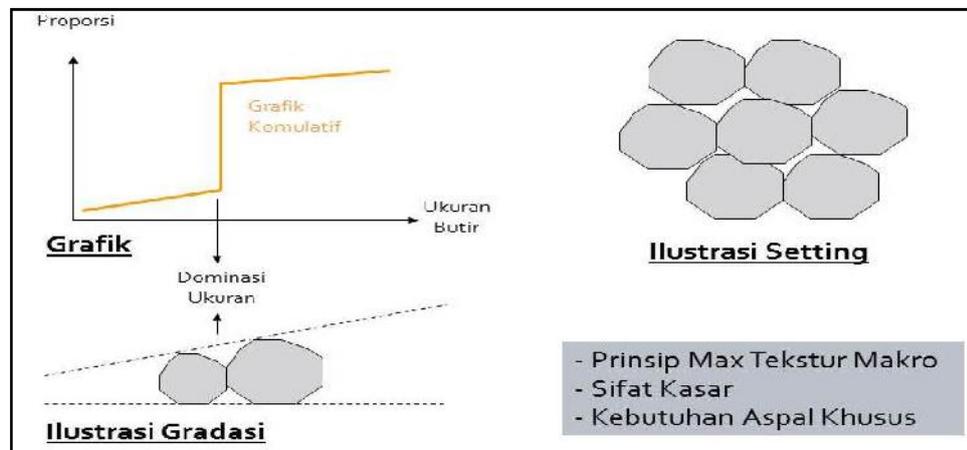
Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Devisi 6 Perkerasan Aspal

d. Gradasi Agregat

Menurut silvia sukirman, 2003 gradasi agregat adalah susunan butir agregat sesuai ukurannya. Ukuran butir agregat dapat diperoleh melalui pemeriksaan analisa saringan. Distribusi ini dibedakan menjadi 3 macam, yaitu:

1. Gradasi Seragam

Agregat yang mempunyai sama atau hampir sama disebut agregat seragam. Agregat ini mempunyai pori antar butir yang cukup besar, sehingga sering juga disebut agregat bergradasi terbuka. Berikut ilustrasi dari agregat bergradasi seragam.

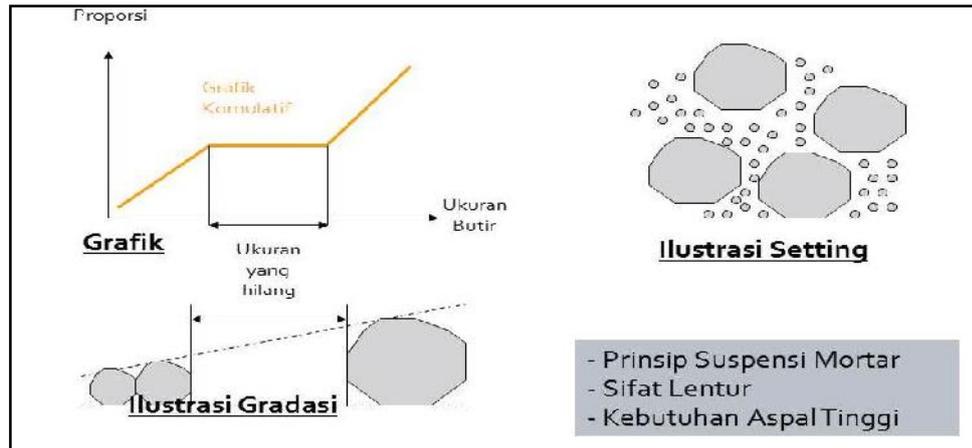


Sumber: <http://www.gloopic.net/berita/idtsvA9u3xt15VQF>

Gambar 2.2 Ilustrasi Gradasi Seragam

2. Gradasi Senjang

Gradasi senjang merupakan gradasi dengan agregat yang tidak memiliki ukuran yang tak sama rata dan memiliki sela. Berikut ilustrasi dari agregat bergaradai senjang.

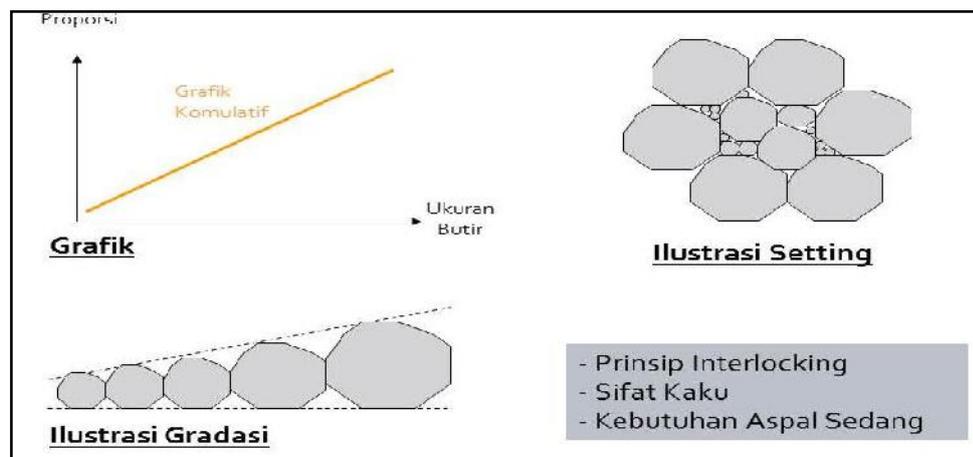


Sumber: <http://www.gloopic.net/berita/idtsvA9u3xt15VQF>

Gambar 2.3 Ilustrasi Gradasi Senjang

3. Gradasi menerus

Gradasi menerus merupakan gradasi dengan agregat yang semua ukuran butirnya ada dan terdistribusi dengan baik. Agregat ini lebih sering digunakan dalam lapis perkerasan lentur. Untuk mendapatkan pori yang kecil dan kemampuan yang tinggi sehingga terjadi *interlocking* yang baik. Berikut ilustrasi dari agregat bergradasi menerus.



Sumber: <http://www.gloopic.net/berita/idtsvA9u3xt15VQF>

Gambar 2.4 Ilustrasi Gradasi Menerus

Dalam campuran aspal, gradasi agregat menentukan rongga campuran. Rongga dalam campuran yang tidak ditempati oleh agregat dinamakan VMA (*Void in mineral aggregate*) (*The Asphalt Institute*). Rongga ini sebagian akan diisi oleh aspal pada campuran aspal, sehingga jumlah rongga udara yang akan tersisa secara tidak langsung ditentukan oleh VMA. Persentase minimum rongga dalam agregat untuk ukuran maksimum agregat dalam suatu campuran agregat dapat dilihat pada tabel 2.6. Dalam perkerasan, gradasi agregat merupakan salah satu faktor penentu kinerja perkerasan tersebut. Setiap jenis perkerasan jalan memiliki gradasi agregat tertentu sesuai dengan spesifikasi material perkerasan jalan atau yang ditetapkan oleh badan yang berwenang. Tabel 2.6 menunjukkan persyaratan gradasi agregat campuran.

Tabel 2.6. Gradasi Agregat Untuk Campuran AC-WC

Ukuran Ayakan		% Berat yang Lolos Terhadap Total Agregat Dalam Campuran					
ASTM	(mm)	Asphalt Concrete					
		Gradasi Halus			Gradasi Kasar		
		WC	BC	Base	WC	BC	Base
1½"	37,5	-		100	-	-	100
1"	25	-	100	90-100	-	100	90-100
¾"	19	100	90-100	73-90	100	90-100	73-90
½"	12,5	90-100	74-90	61-79	90-100	71-90	55-76
3/8"	9,5	72-90	64-82	47-67	72-90	58-80	45-66
No.4	4,75	54-69	47-64	39,5-50	43-63	37-56	28-39,5
No.8	2,36	39,1-53	34,6-49	30,8-37	28-39,1	23-34,6	19-26,8
No.16	1,18	31,6-40	28,3-38	24,1-28	19-25,6	15-22,3	12-18,1
No.30	0,6	23,1-30	20,7-28	17,6-22	13-19,1	10-16,7	7-13,6
No.50	0,3	15,5-22	13,7-20	11,4-16	9-15,5	7-13,7	5-11,4
No.100	0,15	9-15	4-13	4-10	6-13	5-11	4,5-9
No.200	0,075	4-10	4-8	3-6	4-10	4-8	3-7

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Devisi 6 Perkerasan Aspal Tabel 6.3.2

Pada campuran *Asphalt Concrete* yang bergradasi menerus tersebut mempunyai sedikit rongga dalam struktur agregatnya dibandingkan dengan campuran bergradasi senjang. Hal tersebut menyebabkan campuran AC-WC lebih peka terhadap variasi dalam proporsi campuran. Gradasi agregat gabungan untuk campuran AC-WC yang mempunyai gradasi menerus tersebut ditunjukkan dalam persen berat agregat.

B. Aspal

Aspal adalah material semen hitam, padat atau setengah padat dalam konsistensinya di mana pokok yang menonjol adalah bitumen yang terjadi secara alam atau yang dihasilkan dengan penyulingan minyak (*Petroleum*). Aspal adalah koloida yang rumit dari material *hydrocarbon* yang terbuat dari *Asphaltenes*, *resin* dan *oil*. Sedangkan material aspal tersebut berwarna coklat tua hingga hitam dan bersifat melekat, berbentuk padat atau semi padat yang didapat dari alam dengan

penyulingan minyak. Aspal dibuat dari minyak mentah (*crude oil*) dan secara umum berasal dari sisa hewan laut dan sisa tumbuhan laut dari masa lampau yang tertimbun oleh dan pecahan batu batuan. Setelah berjuta juta tahun material organik dan lumpur terakumulasi dalam lapisan lapisan setelah ratusan meter, beban dari beban teratas menekan lapisan yang terbawah menjadi batuan sedimen. Sedimen tersebut yang lama kelamaan menjadi atau terproses menjadi minyak mentah senyawa dasar hydrocarbon. Aspal biasanya berasal dari destilasi minyak mentah tersebut, namun aspal ditemukan sebagai bahan alam (issal: asbuton), dimana sering juga disebut mineral (Rian Putrowijoyo,2006).

Aspal keras dengan penetrasi rendah digunakan di daerah bercuaca panas atau lalu lintas dengan volume tinggi, sedangkan aspal semen penetrasi tinggi digunakan untuk daerah bercuaca dingin atau lalu lintas dengan volume rendah. Aspal untuk lapis beton harus memenuhi beberapa syarat sebagaimana tercantum pada tabel 2.7.

Tabel 2.7. Persyaratan Aspal Keras Penetrasi 60/70

No	Jenis Pengujian	Metoda	Persyaratan
		Pengujian	Pen 60/70
1	Penetrasi pada 25 °C (0,1 mm)	SNI 06-2456-1991	60 – 79
2	Titik Lembek (°C)	SNI 06-2434-1991	48-58
3	Titik Nyala (°C)	SNI-06-2433-1991	Min. 200
4	Daktilitas pada 25 °C (cm)	SNI 06-2432-1991	Min. 100
5	Berat jenis	SNI 06-2441-1991	Min. 1,0

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Devisi 6 Perkerasan Aspal

Fungsi aspal pada material perkerasan adalah:

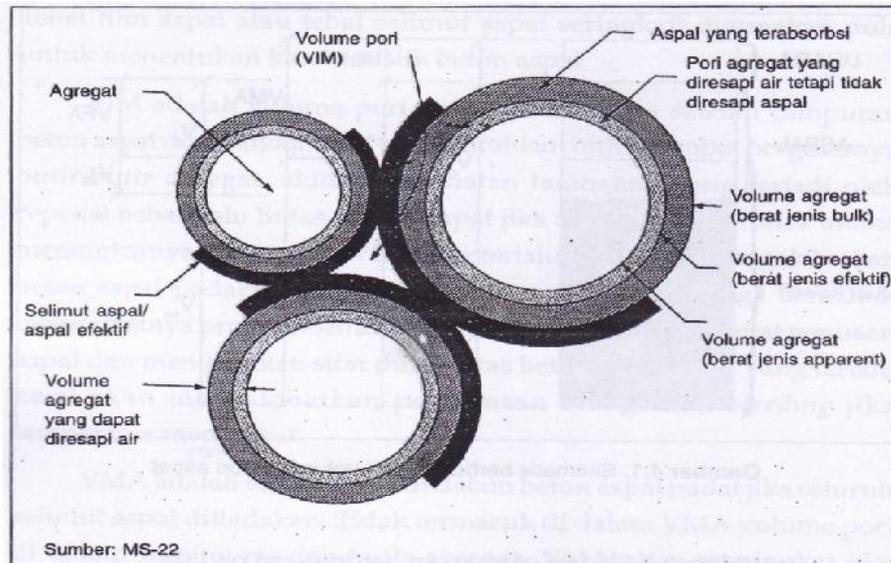
- Bahan pengikat material agregat
- Bahan pengisi rongga butiran antar agregat dan pori-pori yang ada di dalam butiran agregat tersebut.

Untuk dapat memenuhi kedua fungsi tersebut, agregat haruslah memiliki sifat *adhesi* dan *kohesi* yang baik sehingga aspal tersebut memiliki durabilitas yang tinggi Daya tahan atau durabilitas pada aspal merupakan kemampuan aspal

mempertahankan sifat dan bentuk asalnya dari pengaruh cuaca, beban dan pengaruh eksternal lainnya.

Penggunaan aspal pada perkerasan dapat melalui pencampuran pada agregat sebelum dihamparkan (prahampar) seperti pada lapisan beton aspal atau disiramkan pada lapisan agregat yang telah dipadatkan dan ditutupi oleh agregat-agregat yang lebih halus (pascahampar) seperti pada perkerasan penetrasi makadam atau pelaburan. Pada proses prahampar, aspal yang dicampurkan dengan agregat akan membungkus atau menyelimuti butir-butir agregat, mengisi pori antar butir dan meresap ke dalam pori masing-masing butir. Sementara pada proses pascahampar, aspal akan meresap ke dalam pori-pori antar butir agregat dibawahnya. Fungsi utamanya adalah menghasilkan lapisan perkerasan bagian atas yang kedap air dan tidak mengikat agregat sampai ke bagian bawah.

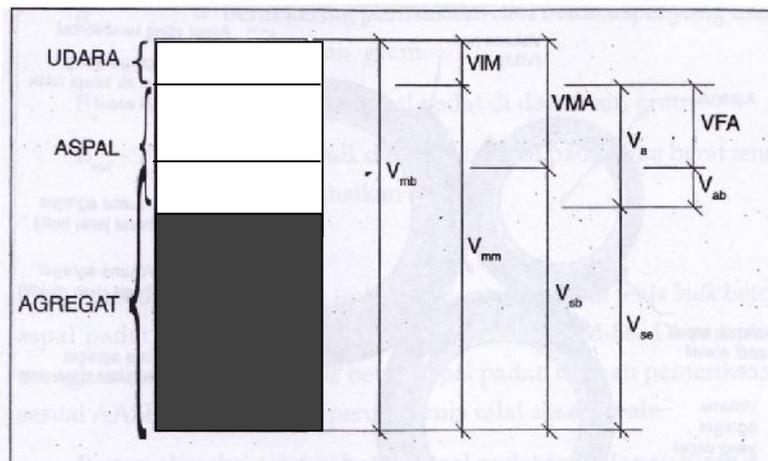
Dalam campuran perkerasan, konten aspal dan agregat menentukan besar rongga udara yang berperan penting dalam durabilitas lapis perkerasan sehubungan dengan udara dan air. Permeabilitas yang tinggi terhadap udara dapat memicu terjadinya penggetasan pada aspal akibat oksidasi dan menyebabkan retak/*crack*. Sedangkan permeabilitas air menyebabkan pelepasan bitumen dari butiran agregat. Rongga udara juga harus dijaga agar tidak terlalu rendah karena menjadi penyebab utama retak alur (*rutting*). Rendahnya rongga udara dapat disebabkan oleh kadar aspal diatas batas optimum. Kadar aspal yang terlalu rendah dapat menyebabkan pelepasan butiran agregat (Waddah S. A., 1998). Rongga udara berperan sangat penting dalam performa campuran perkerasan. Sehingga penentuan rongga udara merupakan komponen yang diutamakan dalam perancangan campuran agar tidak ada karakteristik yang tidak bernilai optimum (Silvia Sukirman, 2003).



Sumber: Silvia sukirman, 2003

Gambar 2.5 Rongga Dalam Campuran

Rongga dalam campuran dikenal dengan VIM (*Void in mix*). VIM adalah rongga dalam campuran yang tidak ditempati oleh agregat maupun aspal (*The Asphalt Institute*). Rongga udara yang terbentuk dalam campuran aspal dapat dilihat pada gambar 2.3. Gambar 2.3 dijabarkan secara skematik pada gambar 2.4.



Sumber: Silvia Sukirman, 2003

Gambar 2.6 Skema Proporsi Rongga Dalam Campuran Aspal

V_{mb} = volume *bulk* dari campuran beton aspal padat

V_{sb} = volume agregat, adalah volume *bulk* dari agregat (volume bagian masif + pori yang ada di dalam masing)

V_{se} = volume agregat, adalah volume efektif dari pori yang tidak terisi aspal di dalam masing

VMA = volume pori di antara butir agregat di dalam beton aspal padat

V_{mm} = volume tanpa pori dari beton aspal padat

VIM = volume pori dalam beton aspal padat

V_a = volume aspal dalam beton aspal padat

VFA = volume pori beton aspal yang terisi oleh aspal

V_{ab} = volume aspal yang terabsorpsi ke dalam agregat dari beton aspal

2.3 Additive

Additive untuk aspal merupakan bahan *additive* kelekatan dan anti pengelupasan dapat ditambahkan ke dalam aspal, persentase *additive* yang diperlukan serta waktu pencampurannya harus sesuai dengan petunjuk pabrik pembuatnya (Revisi SNI 03-1737-1989).

Additive untuk campuran pada campuran aspal dilakukan jika kualitas campuran beraspal yang menggunakan bahan pengikat aspal keras Pen 60 perlu ditingkatkan, maka dapat menambahkan *additive* ke dalam campuran beraspal tersebut. Jenis *additive* yang dapat digunakan adalah salah satu tipe asbuton butir yang memenuhi ketentuan sebagaimana yang ditunjukkan pada tabel 2.8. Takaran pemakaian *additive*, metoda kerja proses pencampuran (di *pugmill*) serta waktu pencampurannya harus sesuai dengan petunjuk pabrik pembuatnya. Asbuton butir yang akan digunakan harus dalam kemasan kantong atau kemasan lain yang kedap air serta mudah penanganannya saat dicampur di ruang pencampur (*pugmill*). Asbuton butir tersebut harus ditempatkan pada tempat yang kering dan beratap sehingga terlindung dari hujan atau sinar matahari langsung. Tinggi penimbunan asbuton butir tidak boleh lebih dari 2 meter.

Kemasan asbuton harus memiliki label yang jelas dan memuat informasi berikut:

- logo pabrik;
- kode pengenal antara lain tipe, berat, penetrasi bitumen, diameter butir dan kelas kadar bitumen asbuton.

Tabel 2.8 Ketentuan Asbuton Butir

Sifat-Sifat Asbuton	Metode	Tipe	Tipe	Tipe	Tipe
	Pengujian	5/20	15/20	15/25	20/25
Kadar Bitumen	SNI 03-3640-1994	18-22	18-22	23-27	23-27
Ukuran butir asbuton butir					
1. Lolos ayakan No.8 (2,36 mm)%	SNI 03-1968-1990	100	100	100	100
2. Lolos ayakan No.16 (1,18) %	SNI 03-1968-1990	min 95	min 95	min 95	min 95
Kadar air %	SNI 06-2490-1991	mak 2	mak 2	mak 2	mak 2
Penetrasi aspal asbuton pada 25°C, 100 g, 5 detik; 0,1 mm Penetrasi aspal asbuton	SNI 06-2456-1991	≤ 10	10--18	10—18	19—22
Keterangan: 1. Asbuton type 5/-20 : Kelas penetrasi 5 (0,1 mm) dan kadar kelas bitumen 20% 2. Asbuton type 15/-20 : Kelas penetrasi 15 (0,1 mm) dan kadar kelas bitumen 20% 3. Asbuton type 15/-25 : Kelas penetrasi 15 (0,1 mm) dan kadar kelas bitumen 25% 4. Asbuton type 20/-25 : Kelas penetrasi 20 (0,1 mm) dan kadar kelas bitumen 25%					

Sumber: Pedoman Pemanfaatan Asbuton Departemen Pekerjaan Umum Bina Marga, 2006

A. Asbuton butir

Asbuton butir adalah salah satu produk aspal buton yang berbentuk butir dengan kadar aspal rata-rata 20%. Asbuton butir ini terdiri dari 2 jenis, yaitu: (Pemanfaatan Asbuton Butir Dalam Campuran Beraspal Panas, No.06/BM/2008)

1. Asbuton butir Kabungka (Asbuton yang ditambang dari area tambang Kabungka)
2. Asbuton butir Lawele (Asbuton yang ditambang dari area tambang Lawele)

Kedua jenis asbuton bentuknya sama (seperti pasir) namun memiliki perbedaan sifat. Kabungka keras hampir mirip seperti pasir sedangkan Lawele lembek dan lengket mirip seperti tanah, untuk *Job Mix* kedua material hampir sama, keduanya

harus dilakukan *combine grading* dengan agregat karena kedua material mengandung mineral yang membedakan dan perlu diperhatikan pada *Job Mix* asbuton dengan *Job Mix* aspal minyak biasa adalah pada:

1. *Aggregate grading*
2. *Specific Gravity* Bitumen
3. Total Bitumen
4. *Surface area* yang lebih besar karena ukuran mineral asbuton yang kecil juga harus terselimuti aspal
5. *Bitumen film thickness*

Pada *Job Mix*, *test* yang dilakukan adalah *aggregate test* dan *marshall test* untuk menentukan kadar aspal optimum. Biasanya kesalahan pembuatan *Job Mix* ini terjadi pada saat menentukan berat jenis bitumen dan total bitumen content pada *form Marshall*. Laboran sering kali tidak mengkombinasikan berat jenis bitumen aspal minyak dengan berat jenis bitumen asbuton, padahal pada gradasi agregat dilakukan *combine grading* dengan gradasi asbuton. Hasil campuran *hotmix* menggunakan asbuton memiliki nilai stabilitas *marshall* yang lebih tinggi (150-300 kg) bila semua prosedur dijalankan dengan benar. Jenis asbuton berdasarkan besar butir dan kadar aspal yang dikandungnya dapat dibedakan seperti tertera pada Tabel 2.9

Tabel 2.9. Jenis Asbuton Butir yang telah diproduksi

Uraian	Jenis Asbuton/merk produksi						Satuan
	Konv.*)	Halus*)	Mikro.*)	BRA	BGA	LGA	
Kadar aspal	13-20	20	25	20	20-25	25-40	%
Kadar air	> 6	6	2	< 2	< 2	< 2	%
Ukuran butir maks.	12.5	4.75	2.36	1.18	1.18	9	Mm
Kemasan	curah	kantong	Kantong	Karung	karung	Karung	-

Sumber: [bataviase.co.id/PU Dukung Penggunaan Asbuton/06 Aug 2010](http://bataviase.co.id/PU_Dukung_Penggunaan_Asbuton/06_Aug_2010)

*) tahun 2004 sudah tidak diproduksi lagi

B. Keunggulan Asbuton:

Deposit asbuton dalam jumlah besar dapat menjamin pasokan kebutuhan akan aspal. Dari pengujian yang telah dilakukan, didapat hasil campuran beraspal yang ditambah asbuton menghasilkan campuran beraspal yang bermutu baik dengan kecenderungan pada titik lembeknya yang lebih tinggi dari aspal minyak dan ketahanan asbuton yang cukup tinggi terhadap panas sehingga membuatnya tidak mudah meleleh berikut keunggulan asbuton lainnya: (bataviase.co.id/PU Dukung Penggunaan Asbuton/06 Aug 2010)

- Stabilitas *Marshall* campuran beraspal yang lebih tinggi
- Stabilitas dinamis campuran beraspal yang lebih tinggi
- Meningkatkan umur konstruksi (dari hasil uji *fatigue*)
- Lebih tahan terhadap perubahan temperatur
- Nilai modulus yang meningkat

Kecenderungan tersebut terjadi karena asbuton mengandung bahan aromatic dan resin yang tinggi, sehingga di dalam campuran asbuton mempunyai:

- Daya lekat yang lebih tinggi (*anti stripping*)
- Kelenturan yang tinggi (*fatigue life* tinggi)

Dengan kelebihan - kelebihan tersebut, penentu kebijakan memberikan pernyataan bahwa asbuton:

- Cocok digunakan untuk lokasi temperatur tinggi (tropis)
- Cocok digunakan untuk *heavy loaded highway*.

Namun, dalam penerapan kebijakan penggunaan asbuton untuk peningkatan kualitas campuran beraspal untuk perkerasan harus ditunjang pengendalian mutu yang ketat. Hal ini disebabkan karena dari beberapa kasus diperoleh data bahwa pelaksana lapangan kurang memahami pengaruh penggunaan asbuton dalam campuran beraspal.

Kebijakan pemerintah tentang peningkatan penggunaan asbuton akan berdampak pada menurunnya impor aspal keras. Hal ini akan berimbas pada kondisi pasar asbuton, sehingga menjadi lebih stabil. Keadaan tersebut akan terwujud dengan jalan mengoptimalkan tahap produksi dan menjaga kestabilan

mutu, sehingga kepercayaan pengguna asbuton juga akan meningkat. Kondisi ini dapat mengontrol nilai ekonomis dari sebuah produk, bahkan perekonomian negara secara keseluruhan.

C. Kelemahan Asbuton

Kurangnya pemanfaatan asbuton disebabkan pula karena asbuton memiliki kelemahan seperti; mineral yang tidak homogen, dan mudah pecah akibat rendahnya penetrasi dan daktilitas dari asbuton. Meskipun telah melewati proses fabrikasi, asbuton masih memiliki beberapa titik kelemahan sebagai berikut:

1. Inkonsistensi kualitas produksi asbuton
 - Kandungan bitumen
 - Penetrasi bitumen
 - Kadar air asbuton
2. Belum terjaminnya ketersediaan asbuton pada saat pelaksanaan di lapangan.
3. Ketidaksiesuaian kemampuan *supply* oleh pabrik pengolah asbuton dengan *demand* proyek pengguna yang ditunjang oleh kebijakan Ditjen Bina Marga.
4. Biaya transportasi pengiriman ke pengguna yang relatif mahal.
5. Pola kerjasama antara produsen dan konsumen yang belum menemukan titik harmonis.
6. Pembagian wilayah kerja pemasaran dari produsen.
7. Harga yang wajar, dengan perincian analisa biaya terhadap:
 - Harga bahan baku asbuton
 - Biaya transportasi
 - Biaya pengolahan asbuton butir

Selain kelemahan yang sudah disebutkan sebelumnya, pada beberapa kasus dijumpai kurang pahaman pengguna asbuton terhadap teknologi yang akan diterapkan. Disamping permasalahan tersebut, *quality control* dan *quality assurance* memang belum diimplementasikan secara optimal. Hal ini mengakibatkan asbuton di dalam lapisan beraspal ”dituduh” sebagai penyebab kerusakan dini.

2.4 Kadar Aspal Rencana

Perkiraan awal kadar aspal optimum dapat direncanakan setelah dilakukan pemilihan dan pengabungan pada tiga fraksi agregat. Sedangkan perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$P_b = 0,035(\%CA) + 0,045(\%FA) + 0,18(\%FF) + K \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan :

P_b : Perkiraan kadar aspal optimum

CA : Nilai prosentase agregat kasar

FA : Nilai prosentase agregat halus

FF : Nilai *persentase filler*

K : konstanta (kira-kira 0,5 - 1,0)

Hasil perhitungan P_b dibulatkan ke 0,5% ke atas terdekat. Parameter dan formula untuk menganalisa campuran aspal panas adalah sebagai berikut:

A. Berat jenis *bulk* dan *apparent* total agregat

Agregat total terdiri atas fraksi-fraksi agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi *filler* yang masing-masing mempunyai berat jenis yang berbeda, baik berat jenis kering (*bulk specific gravity*) dan berat jenis semu (*apparent grafity*).Setelah didapatkan Kedua macam berat jenis pada masing-masing agregat pada pengujian material agregat maka berat jenis dari total agregat tersebut dapat dihitung dalam persamaan berikut:

$$G_{sb\text{tot agregat}} = \frac{P_1+P_2+\dots+P_n}{\frac{P_1}{G_{sb1}} + \frac{P_2}{G_{sb2}} + \dots + \frac{P_n}{G_{sbn}}} \dots\dots\dots(2.10)$$

Keterangan :

G_{sb} : Berat jenis kering agregat gabungan,(gr/cc)

$G_{sb1}, G_{sb2} \dots G_{sb}$: Berat jenis kering dari masing-masing agregat 1,2,3..n, (gr/cc)

$P_1, P_2, P_3, \dots n$: Prosentase berat dari masing-masing agregat,(%)

B. Berat jenis efektif agregat

Berat jenis maksimum campuran (Gmm) diukur dengan AASHTO T.209-90, maka berat jenis efektif campuran (Gse), kecuali rongga udara dalam partikel agregat yang menyerap aspal dapat dihitung dengan rumus berikut yang biasanya digunakan berdasarkan hasil pengujian kepadatan maksimum teoritis.

$$Gse = \frac{\frac{Pmm - Pb}{Gm} - \frac{Pb}{Gb}}{\frac{Pmm - Pb}{Gm} - \frac{Pb}{Gb}} \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan:

- Gse : Berat jenis efektif/ *efektive spesific gravity*,(gr/cc)
- Gmm : Berat jenis campuran maksimum teoritis setelah pemadatan,(gr/cc)
- Pmm : Persen berat total campuran(=100)
- Pb : Prosentase kadar aspal terhadap total campuran,(%)
- Ps : Kadar agregat, persen terhadap berat total campuran,(%)
- Gb : Berat jenis aspal

Berat jenis efektif total agregat dapat ditentukan juga dengan menggunakan persamaan dibawah ini :

$$Gse = \frac{Gsb + gsa}{2} \dots\dots\dots(2.12)$$

Keterangan:

- Gse : Berat jenis efektif / *efektive spesific gravity*, (gr/cc)
- Gsb : Berat jenis kering agregat / *bulk spesific gravity*,(gr/cc)
- Gsa : Berat jenis semu agregat / *apparent spesific gravity*,(gr/cc)

C. Berat jenis maksimum campuran

Berat jenis maksimum campuran, Gmm pada masing-masing kadar aspal diperlukan untuk menghitung kadar rongga masing-masing kadar aspal. Berat jenis maksimum dapat ditentukan dengan AASHTO T.209-90. Ketelitian hasil uji terbaik adalah bila kadar aspal campuran mendekati kadar aspal optimum. Sebaliknya pengujian berat jenis maksimum dilakukan dengan benda uji sebanyak minimum dua buah (duplikat) atau tiga buah (triplikat).

Berat jenis maksimum (Gmm) campuran untuk masing-masing kadar aspal dapat dihitung menggunakan berat jenis efektif (Gse) rata-rata sebagai berikut:

$$Gmm = \frac{Pmm}{\frac{Ps}{Gse} + \frac{Pb}{Gb}} \dots\dots\dots(2.13)$$

Keterangan:

- Gmm : Berat jenis maksimum campuran,(gr/cc)
Pmm : Persen berat total campuran,(=100)
Ps : Kadar agregat, persen terhadap berat total campuran,(%)
Pb : Prosentase kadar aspal terhadap total campuran,(%)
Gse : Berat jenis efektif/ *efektive spesific gravity*,(gr/cc)
Gb : Berat jenis aspal,(gr/cc)

D. Berat jenis *bulk* campuran padat

Perhitungan berat jenis *bulk* campuran setelah pemadatan (Gmb) dinyatakan dalam gram/cc dengan rumus sebagai berikut:

$$Gmb = \frac{Wa}{Vbulk} \dots\dots\dots(2.14)$$

Keterangan:

- Gmb : Berat jenis campuran setelah pemadatan,(gr/cc)
Wa : Volume campuran setelah pemadatan,(cc)
Vbulk : Berat di udara,(gr)

E. Penyerapan aspal

Penyerapan aspal dinyatakan dalam persen terhadap berat agregat total, tidak terhadap berat campuran. Perhitungan penyerapan aspal (Pba) adalah sebagai berikut:

$$P_{ba} = 100 \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{se} \times G_{sb}} G_b \dots\dots\dots(2.15)$$

Keterangan:

- Pba : Penyerapan aspal, persen total agregat,(%)
Gsb : Berat jenis *bulk* agregat,(gr/cc)
Gse : Berat jenis efektif agregat,(gr/cc)
Gb : Berat jenis aspal,(gr/cc)

F. Kadar aspal efektif

Kadar aspal efektif (P_{be}) campuran beraspal adalah kadar aspal total dikurangi jumlah aspal yang terserap oleh partikel agregat. Kadar aspal efektif ini akan menyelimuti permukaan agregat bagian luar yang pada akhirnya akan menentukan kinerja perkerasan beraspal. Rumus kadar aspal efektif adalah:

$$P_{be} = P_b - \frac{P_{ba}}{100} P_s \dots\dots\dots(2.16)$$

Keterangan:

- P_{be} : Kadar aspal efektif, persen total campuran,(%)
 P_b : Kadar aspal, persen total campuran,(%)
 P_{ba} : Penyerapan aspal, persen total agregat,(%)
 P_s : Kadar agregat, persen terhadap berat total campuran,(%)

G. Rongga diantara mineral agregat (*Void in the Mineral Agregat/ VMA*)

Rongga antar mineral agregat (VMA) adalah ruang rongga diantara partikel agregat pada suatu perkerasan, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat). VMA dihitung berdasarkan berat jenis *bulk* (G_{sb}) agregat dan dinyatakan sebagai persen volume bulk campuran yang dipadatkan. VMA dapat dihitung pula terhadap berat campuran total atau terhadap berat agregat total. Perhitungan VMA terhadap campuran adalah dengan rumus berikut:

$$VMA = 100 - \left[\frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}} \right] \dots\dots\dots(2.17)$$

Keterangan:

- VMA : Rongga udara pada mineral agregat, prosentase dari volume total,(%)
 G_{mb} : Berat jenis campuran setelah pemadatan,(gr/cc)
 G_{sb} : Berat jenis *bulk* agregat,(gr/cc)
 P_s : Kadar agregat, persen terhadap berat total campuran,(%)

Jika komposisi campuran ditentukan sebagai persentase dari berat total agregat.

$$VMA = 100 - \left[\frac{Gmb}{Gsb} \times \frac{100}{(100+Pb)} \times 100 \right] \dots\dots\dots(2.18)$$

Keterangan :

- VMA : Rongga udara pada mineral agregat, prosentase dari volume total, (%)
 Gmb : Berat jenis campuran setelah pemadatan, (gr/cc)
 Gsb : Berat jenis *bulk* agregat, (gr/cc)
 Pb : Kadar aspal, persen total campuran, (%)

H. Rongga didalam campuran (*Void In The Compacted Mixture/ VIM*)

Rongga udara dalam campuran (Va) atau VIM dalam campuran perkerasan beraspal terdiri atas ruang udara diantara partikel agregat yang terselimuti aspal. VIM dinyatakan dalam persentase terhadap volume beton aspal padat. Volume rongga udara dalam campuran dapat ditentukan dengan rumus berikut:

$$VIM = 100 \times \frac{(Gmm - Gmb)}{Gmm} \dots\dots\dots(2.19)$$

Keterangan:

- VIM : Rongga udara pada campuran setelah pemadatan, prosentase dari volume total, (%)
 Gmb : Berat jenis campuran setelah pemadatan, (gr/cc)
 Gmm : Berat jenis campuran maksimum teoritis setelah pemadatan, (gr/cc)

I. Rongga udara yang terisi aspal (*Voids Filled with Bitumen/ VFB*)

Rongga terisi aspal (VFB) adalah persen rongga yang terdapat diantara partikel agregat (VMA) yang terisi oleh aspal, tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat. Dengan demikian aspal yang mengisi VFB inilah yang merupakan persentase volume beton aspal padat yang menjadi film atau selimut aspal. Dasar perhitungan dilakukan berdasarkan volume beton aspal padat = 100 cm³

$$VFB = 100 \times \frac{(VMA - VIM)}{VMA} \dots\dots\dots(2.20)$$

Keterangan:

- VFB : Rongga udara yang terisi aspal, prosentase dari VMA, (%)

VMA : Rongga udara pada mineral agregat, *prosentase* dari volume total, (%)

VIM : Rongga udara pada campuran setelah pemadatan, *prosentase* dari volume total, (%)

J. Stabilitas

Stabilitas lapisan perkerasan jalan adalah kemampuan lapisan perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur atau bleeding. Kebutuhan akan stabilitas setingkat dengan jumlah lalu lintas dan beban kendaraan yang akan memakai jalan tersebut. Nilai stabilitas diperoleh berdasarkan nilai masing-masing yang ditunjukkan oleh jarum dial. Untuk nilai stabilitas, nilai yang ditunjukkan pada jarum dial perlu dikonversikan terhadap alat *marshall*. Selain itu pada umumnya alat *marshall* yang digunakan bersatuan Lbf (*pound force*), sehingga harus disesuaikan satuannya terhadap satuan kilogram. Selanjutnya nilai tersebut juga harus disesuaikan dengan angka koreksi terhadap ketebalan atau volume benda uji.

K. Flow

Menurut *The Asphalt Institute*, 1983, *flow* adalah angka yang menunjukkan besarnya penurunan vertikal pada benda uji, dinyatakan dalam mm atau 0,01” yang terjadi pada awal pembebanan sehingga stabilitasnya menurun yang menunjukkan besarnya deformasi yang terjadi pada lapisan perkerasan akibat menahan beban yang diterima. Seperti halnya cara memperoleh nilai stabilitas seperti di atas nilai *flow* berdasarkan nilai masing-masing yang ditunjukkan oleh jarum dial. Hanya saja untuk alat uji jarum *dial flow* biasanya sudah dalam satuan mm, sehingga tidak perlu dikonversikan lebih lanjut.

L. Hasil bagi *marshsall*

Hasil bagi Marshall / *Marshall Quotient (MQ)* merupakan hasil pembagian dari stabilitas dengan keelehan. Sifat Marshall tersebut dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$MQ = \frac{MS}{MF} \dots\dots\dots(2.21)$$

keterangan:

MQ : *Marshall Quotient*,(kg/mm)

MS : *Marshall Stabilit,y*,(kg)

MF : *Flow Marshall*,(mm)