

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Campuran Lapis Aspal Beton (LASTON)

Campuran beraspal atau beton aspal adalah jenis perkerasan jalan yang terdiri dari campuran agregat dan aspal, dengan atau tanpa bahan tambahan. Salah satu jenis campuran beraspal yang umum digunakan adalah Lapis Aspal Beton (Laston) atau biasa disebut *Asphalt Concrete* (AC) (Sukirman, 2003). Laston adalah beton aspal bergradasi menerus yang umum digunakan untuk jalan-jalan dengan beban lalu lintas berat. Komponen laston terdiri dari campuran aspal, agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi (*filler*) sesuai proporsi tertentu. Tebal nominal minimum laston 4-7,5 (Spesifikasi 2010 Revisi 3). Laston bersifat kedap air, mempunyai nilai struktural, awet, kadar aspal berkisar 4-7% terhadap berat campuran. Campuran ini memiliki tingkat kekakuan yang tinggi. Karena itu, bahan ini tidak cocok diletakkan pada lapisan yang fleksibel, seperti lapis penetrasi. Tipe kerusakan yang umumnya terjadi pada lapisan ini adalah retak dan terlepasnya butiran. Berdasarkan fungsinya, Laston dibagi atas 3 jenis campuran yaitu :

1. Laston Lapis Aus (*Asphalt Concrete-Wearing Course, AC-WC*)
2. Laston Lapis Antara (*Asphalt Concrete-Binder Course, AC-BC*)
3. Laston Lapis Pondasi (*Asphalt Concrete-Base, AC-Base*)

Laston Lapis Aus (*Asphalt Concrete-Wearing Course, AC-WC*) merupakan lapisan perkerasan yang berhubungan langsung dengan ban kendaraan, bersifat kedap air, tahan terhadap cuaca, dan mempunyai kekesatan yang disyaratkan. Ukuran maksimum agregat pada campuran AC-WC adalah 19 mm. Tebal nominal minimum AC-WC adalah 4 cm.

Laston Lapis Antara (*Asphalt Concrete -Binder Course, AC-BC*) adalah lapisan perkerasan yang terletak di bawah lapisan aus, tidak berhubungan langsung dengan cuaca, tetapi perlu memiliki stabilitas untuk memikul beban lalu lintas yang dilimpahkan melalui roda kendaraan. Ukuran maksimum agregat pada campuran AC-BC adalah 25,4 mm. Tebal nominal minimum AC-BC adalah 6 cm.

Laston Lapis Pondasi (*Asphalt Concrete-Base, AC-Base*) adalah beton aspal yang berfungsi sebagai pondasi atas (*Base Course*). Lapisan ini tidak perlu terlalu kedap air. Fungsi lapis pondasi adalah untuk menahan gaya lintang akibat beban roda kendaraan. Ukuran maksimum agregat pada campuran AC-Base adalah 37,5 mm. Tebal nominal minimum AC-Base adalah 7,5 cm.

Dalam penggunaannya, ketiga jenis campuran laston tersebut memiliki perbedaan dalam persyaratan campurannya. Agregat yang digunakan umumnya mempunyai gradasi

rapat, dan memiliki rongga udara antar agregat kecil dan memerlukan sedikit aspal. Kerusakan yang sering terjadi pada beton aspal, biasanya dimulai dengan adanya retak-retak pada perkerasan. Hal ini karena beton aspal mempunyai rongga antara agregat yang kecil, sehingga volume aspal yang menyelimuti butiran agregat juga sedikit. Akibatnya, aspal dengan mudah teroksidasi, lapisan kurang kedap air yang mengakibatkan aspal mudah terkelupas dari agregat yang menyebabkan terjadinya pelepasan butir (2011).

2.1.1 Pengaruh *Filler* Terhadap Laston

Filler merupakan salah satu bahan pembentuk laston, dimana memiliki butir-butir berukuran lebih kecil dari 0,075 mm yang merupakan bagian butir batuan yang lolos saringan No. 200 mm. *Filler* pada campuran laston merupakan komponen yang memiliki persentase terhadap campuran yang paling terkecil. *Filler* memiliki peranan dalam campuran laston. Jika *filler* ditambahkan ke dalam aspal adalah maka akan membentuk mastic aspal yaitu campuran antara aspal dan *filler*, mastic aspal akan mempengaruhi atau menambah viskositas (kekentalan) aspal. *Filler* berpengaruh sebagai pendukung adhesi antara aspal dan agregat. Penggunaan bahan pengisi dalam campuran beton aspal akan sangat mempengaruhi karakteristik beton aspal, karena akan mempengaruhi dalam proses pencampuran, penghamparan dan pemadatan. Di samping itu kadar dan jenis bahan pengisi juga akan berpengaruh terhadap sifat elastik campuran dan sensitifitas terhadap air. Fungsi *filler* terhadap laston adalah :

- 1) Untuk memodifikasi gradasi agregat halus, sehingga berat jenis agregat meningkat dan jumlah aspal yang diperlukan untuk mengisi rongga akan berkurang.
- 2) Mengisi ruang antar agregat halus dan kasar serta meningkatkan kepadatan dan stabilitas.
- 3) Mengisi rongga dan menambah bidang kontak antar butir agregat sehingga akan meningkatkan kekuatan campuran.
- 4) Bila dicampur dengan aspal, *filler* akan membentuk bahan pengikat yang berkonsistensi tinggi sehingga mengikat butiran agregat secara bersama-sama.
- 5) Mengurangi rongga air (*air void*).

2.1.2 Pengaruh *Filler* Semen Terhadap Laston

Semen merupakan salah satu bahan perekat yang jika dicampur dengan air mampu mengikat bahan-bahan padat seperti pasir dan batu menjadi suatu kesatuan kompak. Semen sering digunakan sebagai *filler* pada campuran laston dan merupakan bahan pengisi hasil pabrik yang mudah diperoleh dalam jumlah banyak. Sifat pengikatan semen ditentukan oleh susunan kimia yang dikandungnya. Fungsi semen adalah mengikat butir-butir agregat hingga membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga-rongga udara di antara butir-butir agregat. Semen sebagai *filler* dalam laston dapat meningkatkan kepadatan dan stabilitas campuran, sehingga butir-butir agregat dapat saling mengunci (*interlocking*) dengan baik apabila dikenakan beban.

2.2 Aspal

Aspal adalah material perekat, yang mana merupakan material yang pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat dan bersifat thermoplastis. Jadi, aspal akan mencair jika dipanaskan sampai temperatur tertentu dan kembali membeku jika temperatur menurun. Sifat ini dinamakan kepekaan aspal terhadap perubahan temperatur. Kepekaan aspal terhadap temperatur dipengaruhi oleh komposisi kimiawi aspal. Pemeriksaan sifat ini sangat penting untuk mengetahui temperatur yang baik untuk pelaksanaan pekerjaan. Bersama dengan agregat, aspal merupakan material pembentuk campuran perkerasan jalan (Sukirman, 2003).

Fungsi aspal sebagai material perkerasan adalah :

1. Sebagai bahan pengikat : memberikan ikatan yang kuat antara aspal dan agregat dan antara sesama aspal.
2. Sebagai bahan pengisi : mengisi rongga antar butir agregat dan pori-pori yang ada di dalam butir agregat itu sendiri.

Aspal menurut tempat penghasilnya dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu :

1. Aspal Alam.

Aspal alam adalah aspal yang didapatkan dari suatu tempat di alam dan dapat digunakan sebagaimana diperolehnya atau dengan sedikit pengolahan.

Aspal alam di Indonesia terdapat di pulau Buton, yang merupakan aspal gunung atau yang lebih dikenal dengan Asbuton.

2. Aspal Minyak

Aspal minyak adalah aspal yang merupakan residu pengilangan minyak bumi. Hasil residu berbentuk padat, tetapi melalui pengolahan dapat pula berbentuk cair dan dan

emulsi, maka dilihat dari bentuknya pada temperatur ruang maka aspal dibedakan atas 3 jenis, yaitu:

- a. Aspal padat : aspal yang berbentuk padat atau semi padat pada suhu ruang dan menjadi cair jika dipanaskan.
- b. Aspal cair : aspal yang berbentuk cair pada suhu ruang.
- c. Aspal emulsi : suatu campuran aspal dengan air dan bahan pengemulsi, yang dilakukan di pabrik pencampur.

Aspal yang biasa digunakan adalah aspal keras/Bitumen yang sesuai dengan standar spesifikasi yaitu aspal dengan Pen. 60, seperti yang terlihat pada Tabel 2.1 berikut ini :

Tabel 2.1 Persyaratan Aspal Keras Pen 60/70

Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Persyaratan
Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI 06-2456-1991	60-70
Viskositas 135°C (cSt)	SNI 06-6441-2000	≥300
Titik Lembek (°C)	SNI 06-2434-2011	≥48
Indeks Penetrasi ⁴⁾	-	≥ -1,0
Daktilitas pada 25°C, (cm)	SNI 06-2432-2011	≥100
Titik Nyala (°C)	SNI 06-2433-2011	≥232
Kelarutan dim Toluene (%)	AASHTO T44-03	>99
Berat Jenis	SNI 06-2441-2011	≥1,0
Stabilitas Penyimpanan (°C)	ASTM D 5976 part 6.1	-
Pengujian Residu hasil TFOT atau RTFOT :		
Berat yang Hilang (%)	SNI 06-2441-2011	≤ 0.8
Penetrasi pada 25°C (%)	SNI 06-2456-1991	≥ 54
Indeks Penetrasi ⁴⁾	-	≥ -1,0
Keelastisan setelah Pengembalian (%)	AASHTO T 301-98	-
Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 06-2432-2011	≥ 100
Partikel yang lebih halus dari 150 micron		

Sumber : Spesifikasi . campuran beraspal panas, 2010 (Revisi 3)

2.3 Agregat

Agregat merupakan komponen utama dari struktur 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 lainnya (*Sukirman, 2003*)

Agregat yang dipergunakan dalam pembuatan aspal beton, secara umum mempunyai persyaratan terhadap sifat-sifatnya, antara lain : gradasi, ukuran maksimum, kebersihan, kekerasan, bentuk butir dan tekstur, berat jenis, dan daya lekat aspal terhadap agregat, sedangkan berdasarkan kelompok agregat akan lebih spesifik sesuai jenisnya apakah agregat kasar, halus atau *filler*.

Sifat - fisik dan mekanis agregat dan hubungannya dengan kinerja campuran, antara lain :

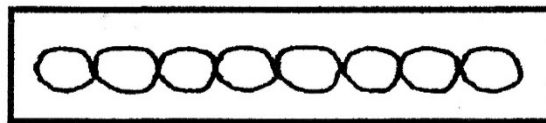
a. Gradasi

Gradasi adalah susunan butir agregat sesuai ukurannya, merupakan hal penting dalam menentukan stabilitas perkerasan, berpengaruh terhadap besarnya volume rongga (*Void*), *Workability* dan Stabilitas dalam campuran.

Gradasi agregat merupakan campuran dari berbagai diameter butiran agregat yang membentuk susunan campuran dari berbagai diameter butiran agregat yang membentuk susunan campuran tertentu ditentukan melalui analisis saringan (*Grain Size Analysis*) dengan menggunakan satu set saringan. Satu set saringan terdiri dari saringan berukuran 4 inci, 3½ inci, 3 inci, 2 inci, 1½ inci, 1 inci, ¾ inci, ½ inci, 3/8 inci, No. 4, No. 8, No. 16, No. 30, No. 50, No. 100, dan No. 200 (*Sukirman, 2003*).

Gradasi agregat untuk campuran aspal yang digunakan terdiri dari 3 macam, yaitu :

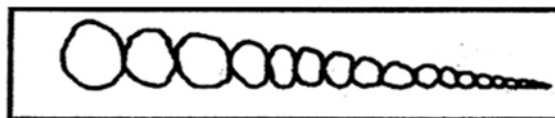
1. Agregat bergradasi seragam, adalah agregat yang hanya terdiri dari butir-butir agregat berukuran sama atau hampir sama. Agregat yang berukuran kecil sangat sedikit sehingga tidak mengisi rongga-rongga yang ada diantara material yang lebih besar.



Gambar 2.1: Agregat Bergradasi Seragam

(Sumber : *Buku Beton Aspal Campuran Panas, Silvia Sukirman, 2003*)

2. Agregat bergradasi menerus, adalah gradasi yang mempunyai semua ukuran butiran dari yang paling besar sampai yang paling kecil, sehingga menyebabkan campuran akan menjadi sangat padat terjadi saling mengunci antara butiran dengan baik. Campuran yang padat ini menyebabkan hanya ada sedikit ruang atau rongga diantara agregat sehingga hanya dapat ditempati oleh bahan pengikat untuk menambah kekuatan campuran. Sifat dari campuran jenis ini adalah memiliki stabilitas yang tinggi, relatif kaku mempunyai kekesatan yang tinggi.

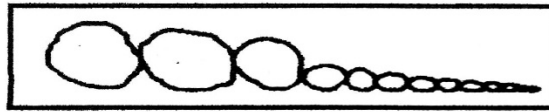


Gambar 2.2: Agregat Bergradasi Baik

(Sumber : *Buku Beton Aspal Campuran Panas, Silvia Sukirman, 2003*)

3. Agregat bergradasi senjang, adalah agregat yang distribusi ukuran butirnya tidak menerus, atau ada bagian ukuran yang tidak ada, jika ada hanya sedikit sekali.

Campuran bergradasi ini mempunyai rongga yang besar antar butir agregat sehingga aspal yang dipakai cukup banyak untuk mengisi rongga-rongga tersebut.



Gambar 2.3: Agregat Bergradasi Senjang

(Sumber : Buku Beton Aspal Campuran Panas, Silvia Sukirman, 2003)

b. Ukuran Maksimum

Agregat dalam campuran beton aspal terdistribusi dari yang berukuran besar sampai dengan yang terkecil. Ukuran maksimum butir agregat dapat dinyatakan dengan mempergunakan :

1. Ukuran maksimum agregat, yang dibatasi sebagai ukuran saringan terkecil dimana agregat yang lolos saringan tersebut sebanyak 100%.
2. Ukuran nominal maksimum, yang dibatasi sebagai ukuran saringan terbesar dimana agregat yang tertahan diatas saringan tersebut sebanyak tidak lebih dari 10%.

c. Kebersihan Agregat (*cleanliness*)

Kebersihan agregat ditentukan oleh banyaknya bahan *impurities* yang ada pada agregat seperti butiran yang lewat saringan no. 200, yaitu adanya lempung, lanau, lumpur ataupun adanya tumbuh-tumbuhan pada campuran agregat. Apabila agregat mengandung butiran halus melebihi dari ketentuan, akan menghasilkan beton aspal berkualitas rendah sebagai akibat dari butiran halus tersebut menghalangi ikatan aspal dengan agregat sehingga dapat berakibat nilai stabilitas rendah dan mudah lepas ikatan antara aspal dengan agregat. Untuk mengukur kebersihan agregat ini, dilakukan pengujian dengan metode *Sand Equivalent Test*.

d. Kekerasan (*toughness*)

Butir agregat harus keras dan kuat, mampu menahan gaya keausan (*Abrasi*), *degradasi* selama proses produksi (penimbunan, penghamparan dan pemadatan) dan pelayanan terhadap beban lalu lintas, proses kimiawi (kelembaban, kepanasan, perubahan suhu) sepanjang hari. Kekuatan agregat terhadap beban yang bekerja merupakan syarat mutlak yang harus dipenuhi. Metode uji dipergunakan adalah uji abrasi dengan metode *Los Angeles Abrasion Test* dan uji kehancuran dengan metode *Rudeloff (Crushing Test)*. Sedang secara kimiawi dilakukan pengujian menggunakan larutan *Natrium Sulfat* atau *Magnesium Sulfat*.

e. Bentuk Butir dan Tekstur Agregat

Bentuk butir agregat secara umum dapat ditemui dalam bentuk bulat, lonjong, pipih, kubus, tak beraturan, atau mempunyai bidang pecah. Bentuk butir dapat mempengaruhi sifat *workability* campuran perkerasan pada waktu penghamparan dan pemadatan sehingga memperoleh kekuatan struktur perkerasan yang dapat memenuhi persyaratan selama umur pelayanannya.

Sedangkan tekstur agregat adalah suatu kondisi yang menunjukkan susunan permukaan butir agregat, yang dibedakan dalam kondisi licin, kasar, atau berpori. Agregat yang permukaannya licin mempunyai sifat akan menghasilkan daya kunci antar butir agregat rendah dan mempunyai tingkat kestabilan yang rendah dan sebaliknya agregat yang mempunyai permukaan kasar, mempunyai gaya gesek yang baik, ikatan antar butir yang kuat sehingga dapat mampu menahan deformasi akibat beban lalu lintas. Agregat berpori (*porous*), banyak bersifat *porous* dan mempunyai tingkat kekerasan rendah sehingga mudah pecah dan terjadi *degradasi*.

f. Daya Lekat Aspal Terhadap Agregat (*Affinity for Asphalt*)

Daya lekat aspal terhadap agregat (*Affinity for Asphalt*) dibedakan dalam 2 kondisi, yaitu :

1. *Hydrophilic*, yaitu sifat agregat yang mudah diresapi air, hal ini dapat mengakibatkan agregat tidak mudah dilekati aspal dan ikatan aspal dengan agregat mudah lepas.
2. *Hydrophobic*, yaitu sifat agregat yang tidak mudah terikat dengan air, tetapi mudah terikat dengan aspal.

g. Berat Jenis Agregat

Berat jenis agregat adalah perbandingan antara berat volume agregat dengan berat volume air. Agregat dengan berat jenis kecil mempunyai volume yang besar atau berat yang ringan. Terdapat tiga jenis berat jenis (*specific gravity*) yaitu:

1. Berat jenis bulk (*bulk specific gravity*), adalah berat jenis dengan memperhitungkan berat agregat dalam keadaan kering dan seluruh volume agregat.
2. Berat jenis kering permukaan (*saturated surface dry*), adalah berat jenis dengan memperhitungkan berat agregat dalam keadaan kering permukaan, jadi merupakan berat agregat kering + berat air yang dapat meresap ke dalam pori agregat, dan seluruh volume agregat.
3. Berat jenis semu (*apparent specific gravity*), adalah berat jenis dengan memperhitungkan berat agregat dalam keadaan kering, dan volume agregat yang tak dapat diresapi oleh air.

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

2.4 Agregat Kasar

Fraksi agregat kasar adalah agregat yang tertahan saringan no. 4 atau 4,75 mm. 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 yang lain. Agregat kasar terdiri dari batu pecah atau kerikil pecah.

Ketentuan yang harus dipenuhi oleh agregat kasar menurut Spesifikasi Bina Marga 2010 (Revisi 3) dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian		Standar	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan natrium dan magnesium sulfat		SNI 3407:2008	Maks.12 %
Abrasi dengan mesin Los Angeles	Campuran AC bergradasi kasar	SNI 2417:2008	Maks. 30%
	Semua jenis campuran aspal bergradasi lainnya		Maks. 40%
Kelekatan agregat terhadap aspal		SNI 03-2439-1991	Min. 95 %
Angularitas (kedalaman dari permukaan <10 cm)		DoT's Pennsylvania Test Method, PTM No.621	95/90 ¹
Angularitas (kedalaman dari permukaan ≥ 10 cm)			80/75 ¹
Partikel Pipih dan Lonjong		ASTM D4791 Perbandingan 1 :5	Maks. 10 %
Material lolos Ayakan No.200		SNI 03-4142-1996	Maks. 1 %

Sumber :Spesifikasi . campuran beraspal panas, 2010 (Revisi 3)

Catatan:(*) 95/90 menunjukkan bahwa 95% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih dan 90% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah dua atau lebih.

2.5 Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat yang lolos saringan no. 4 atau 4,75 mm. Agregat halus terdiri dari pasir bersih, pasir, batu-batuan halus hasil pemecahan batu. Persentase pasir maksimum yang diisyaratkan untuk campuran laston adalah 15%.

Adapun ketentuan agregat halus menurut spesifikasi Bina Marga dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Standar	Nilai
Nilai Setara Pasir	SNI 03 - 4428-1997	Min 60%
Kadar Lempung	SNI 03-6877 : 2002	Min 45%
Angularitas (kedalaman dari permukaan < 10 cm)	SNI 03-6877-2002	Min. 45
Angularitas (kedalaman dari permukaan ≥ 10 cm)		Min. 40

Sumber : Spesifikasi campuran beraspal panas, 2010 (Revisi 3)

2.6 Bahan Pengisi (*Filler*)

Bahan pengisi (*filler*) adalah bahan pengisi rongga dalam campuran (*void in mix*) yang berbutir halus, berukuran lebih kecil dari 0,075 mm yang merupakan lolos saringan no. 200. Menurut Spesifikasi Bina Marga 2010 (Revisi 3), bahan pengisi (*filler*) harus memenuhi persyaratan berikut :

1. Bahan pengisi yang ditambahkan (*filler added*) terdiri atas debu batu kapur (*limestone dust, Calcium Carbonate, CaCO₃*), atau debu kapur yang sesuai dengan AASHTO M303-89 (2006), semen atau mineral yang berasal dari asbuton yang sumbernya disetujui oleh Direksi Pekerjaan. Jika digunakan Aspal Modifikasi maka bahan pengisi yang ditambahkan (*filler added*) haruslah berasal dari mineral yang diperoleh dari Asbuton tersebut.
2. Bahan pengisi yang digunakan harus kering dan bebas dari gumpalan-gumpalan dan bila diuji dengan pengayakan sesuai SNI-03-4142-1996 harus mengandung bahan lolos ayakan No. 200 (75 micron) tidak kurang dari 75% terhadap beratnya kecuali untuk mineral Asbuton. Mineral Asbuton harus mengandung bahan yang lolos ayakan No. 100 (150 micron) tidak kurang 95% terhadap beratnya.
3. Bilamana kapur tidak terhidrasi atau terhidrasi sebagian, digunakan sebagai bahan pengisi yang ditambahkan maka proporsi maksimum yang diijinkan adalah 1,0% dari berat total campuran beraspal. Kapur yang seluruhnya terhidrasi yang dihasilkan pabrik yang disetujui dan memenuhi persyaratan yang disebutkan diatas, dapat digunakan maksimum 2% terhadap berat total agregat.
4. Semua campuran beraspal harus mengandung bahan pengisi yang ditambahkan (*filler added*) harus dalam rentang 1 – 2% dari berat total agregat.

2.7 Semen

Secara umum semen merupakan material perekat untuk kerikil (agregat kasar), pasir, batubata, dan material sejenis lainnya. Bahan baku utama semen adalah bahan-bahan yang mengandung kapur (CaO), silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), dan besi oksida (Fe_2O_3).

Dalam campuran beraspal, semen yang digunakan sebagai *filler* adalah semen portland (*Portland cement*). Fungsi semen portland adalah mengikat butir-butir agregat hingga membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga-rongga udara diantara butir-butir agregat.

Menurut (Mulyono, 2003) semen yang satu dapat dibedakan dengan semen lainnya berdasarkan susunan kimianya maupun kehalusan butirannya. Perbandingan bahan-bahan utama penyusun semen *portland* adalah kapur (CaO) sekitar 60%-65%, silika (SiO_2) sekitar 20%-25%, dan oksida besi serta alumina (Fe_2O_3 dan Al_2O_3) sekitar 7%-12%. Sifat-sifat semen portland dapat dibedakan menjadi dua yaitu sifat fisika dan sifat kimia.

1) Sifat fisika Semen *Portland*

Sifat fisik semen *portland* meliputi kehalusan butiran (*fineness*). Kehalusan butir semen mempengaruhi proses hidrasi. Semakin halus butiran semen, proses hidrasinya semakin cepat, sehingga kekuatan awal tinggi dan kekuatan awal akhir akan berkurang. Kehalusan butiran semen yang tinggi dapat mengurangi terjadinya *bleeding*. Selain itu sifat fisik semen yaitu kepadatan (*density*). Berat jenis semen yang disyaratkan oleh ASTM adalah 3,15 Mg/m³.

2) Sifat Kimia Semen *Portland*

Secara garis besar ada 4 senyawa kimia utama yang menyusun semen portland :

- a. Trikalsium Silika ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) yang disingkat menjadi C_3S .
- b. Dikalsium Silikat ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) yang disingkat menjadi C_2S .
- c. Trikalsium Aluminat ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) yang disingkat menjadi C_3A .
- d. Tetrakalsium aluminoferrit ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) yang disingkat menjadi C_4AF .

Semen portland yang digunakan sebagai *filler* adalah Tipe I, dimana dalam penggunaannya tidak memerlukan persyaratan khusus. Persentase komposisi semen portland tipe I yaitu C_3S sebesar 49%, C_2S sebesar 25%, C_3A sebesar 12%, C_4AF sebesar CaSO_4 , CaO sebesar 0,8 % dan MgO sebesar 2,4 %. Semen *portland* tipe I yang digunakan sebagai filler pada penelitian ini merupakan Semen Kupang. Fungsi semen ini sebagai *filler* adalah mengisi ruang antara agregat halus dan agregat kasar serta mengisi rongga dalam beton aspal padat.

2.8 Kapur

Kapur (*lime*) merupakan hasil pembakaran batu kapur (*limestone*) yang banyak digunakan oleh sektor industri maupun konstruksi. Secara umum kapur bersifat hidrolis, tidak menunjukkan pelapukan dan dapat terbawa arus. Secara fisik kapur merupakan sebuah benda putih dan halus.

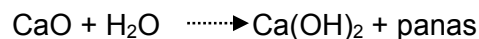
Bahan dasar kapur adalah batu kapur. Batu kapur merupakan nama umum yang diberikan batu karbonat kapur, baik berupa batu karang atau berupa fosil. Batuan ini terutama tersusun dari kalsium karbonat (CaCO_3) atau gabungan dengan magnesium karbonat (MgCO_3), yang disebut batu kapur dolomit. Didalam batu ini jarang terdapat murni 100%, melainkan bercampur dengan bahan lain, seperti tanah lempung, silika, alumina, besi dan lain-lain. Batu kapur setelah mengalami pembakaran dapat dibedakan atas dua jenis yaitu :

1. Kapur Tohor (*Quicklime*), yaitu lime stone yang telah melepaskan CO_2 setelah proses pembakaran.



Kalsium karbonat (CaCO_3) terurai menjadi kalsium oksida (CaO) dan karbon dioksida (CO_2). Kalsium oksida (CaO) yang terbentuk disebut kapur tohor.

2. Kapur Padam (*Hydrated lime*), yaitu hasil dari perubahan kapur tohor setelah penambahan air menjadi hidrat kapur.



Kapur tohor atau kalsium oksida (CaO) yang ditambahkan air, menjadi kalsium hidroksida Ca(OH)_2 serta panas.

Peristiwa terbentuknya Ca(OH)_2 ini, disebut proses pemadaman yang diiringi dengan pengeluaran panas, dimana panas yang dikeluarkan ini berguna sekali untuk pemadaman kapur. Jadi Ca(OH)_2 inilah yang disebut dengan kapur padam dengan bentuk butiran yang umumnya halus.

Kapur padam tersebut yang digunakan sebagai *filler* atau bahan pengisi dari campuran beraspal. Kapur padam yang akan digunakan merupakan material berbutir halus yang lolos ayakan saringan No. 200 (0,075 mm).

Dimana bahan utama dari kapur padam adalah batu kapur atau batu gamping (*limestone*) yang berwarna putih, kelabu, atau warna lain yang diperoleh dari perera. Proses pembakaran batu kapur yaitu secara tradisional (menggunakan kayu api) dengan suhu sedemikian tinggi selama 3 hari. Pembakaran ini menghasilkan kapur tohor. Setelah pembakaran, dilakukan pemadaman atau penyiraman air pada kapur tersebut, yang akan

mengakibatkan keretakan sehingga menimbulkan pecahan kapur yang berukuran besar (masih padat berbentuk batu) dan berbutir halus. Kapur tersebut merupakan kapur padam yang kemudian diayak menggunakan saringan berukuran No.200(0,075 mm). Hasil dari proses pengayakan tersebut merupakan debu kapur padam yang akan digunakan sebagai bahan pengisi (*filler*) Laston AC-WC.

2.9 Agregat Gabungan

Agregat gabungan adalah gabungan antara agregat halus yang terdiri dari pasir, abu batu, dengan agregat kasar yaitu batu pecah $\frac{3}{4}$ " , $\frac{1}{2}$ " , dan bahan pengisi (*filler*) menjadi satu gradasi campuran. Gradasi agregat untuk campuran beraspal ditunjukkan dalam persen terhadap berat agregat.

Tabel 2.4 Gradasi Agregat Untuk Campuran Aspal

Ukuran Ayakan (mm)	Laston (AC)					
	Gradasi Halus			Gradasi Kasar ¹		
	WC	BC	Base	WC	BC	Base
37,5			100			100
25		100	90 – 100		100	90 – 100
19	100	90 – 100	73 – 90	100	90 – 100	73 – 90
12,5	90 – 100	74 – 90	61 – 79	90 - 100	71 – 90	55 – 76
9,5	72 - 90	64 – 82	47 – 67	72 - 90	58 – 80	45 – 66
4,75	54 - 69	47 – 64	39,5 – 50	43 - 63	37 – 56	28 - 39,5
2,36	39,1 – 53	34,6 – 49	30,8 – 37	28 - 39,1	23 - 34,6	19 - 26,8
1,18	31,6 – 40	28,3 – 38	24,1 – 28	19 - 25,6	15 - 22,3	12 - 18,1
0,600	23,1 – 30	20,7- 28	17,6 – 22	13 - 19,1	10 - 16,7	7 - 13,6
0,300	15,5 – 22	13,7- 20	11,4 – 16	9 - 15,5	7 - 13,7	5 - 11,4
0,150	9 – 15	4 – 13	4 – 10	6 - 13	5 – 11	4,5 – 9
0,075	4 – 10	4 – 8	3 - 6	4 - 10	4 – 8	3 – 7

Sumber : Spesifikasi campuran beraspal panas, 2010 (Revisi 3)

Catatan:

1. Laston (AC) bergradasi kasar dapat digunakan pada daerah yang mengalami deformasi yang lebih tinggi dari biasanya seperti pada daerah pengunungan, gerbang tol atau pada dekat lampu lalu lintas.

2.10 Persyaratan Sifat Campuran Laston

Sifat-sifat campuran Laston harus memenuhi persyaratan teknis seperti pada Tabel 2.5, di bawah ini :

Tabel 2.5 Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Laston (AC)

Sifat-sifat Campuran		Laston					
		Lapis Aus		Lapis Antara		Pondasi	
		Halus	Kasar	Halus	Kasar	Halus	Kasar
Kadar aspal efektif (%)		5,1	4,3	4,3	4,0	4,0	3,5
Penyerapan aspal (%)	Maks	1,2					
Jumlah tumbukan per bidang		75				112 ⁽¹⁾	
Rongga dalam campuran (%) ⁽²⁾	Min	3,5					
	Maks	5,0					
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Min	15		14		13	
Rongga Terisi Aspal (%)	Min	65		63		60	
Stabilitas Marshall (kg)	Min	800				1800 ⁽¹⁾	
	Maks	-				-	
Pelelehan (mm)	Min	3				4,5 ⁽¹⁾	
Marshall Quotient (kg/mm)	Min	250				300	
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60 °C ⁽³⁾	Min	90					
Rongga dalam campuran (%) pada Kepadatan membal (refusal) ⁽⁴⁾	Min	2					

Sumber : Spesifikasi campuran beraspal panas, 2010 (Revisi 3)

2.11 Karakteristik Campuran Aspal Beton

2.11.1 Stabilitas

Menurut (*Sukirman, 2003*) stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur dan *bleeding*. Kebutuhan akan stabilitas sebanding dengan fungsi jalan beban lalu lintas yang akan dilayani. Jalan yang melayani volume lalu lintas tinggi dominan terdiri dari kendaraan berat, membutuhkan perkerasan jalan dengan stabilitas tinggi. Sebaliknya perkerasan jalan yang diperuntukkan untuk melayani lalu lintas kendaraan ringan tentu tidak perlu mempunyai stabilitas yang tinggi.

Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai stabilitas beton aspal adalah :

1. Gesekan internal

Gesekan internal dapat berasal dari kekasaran permukaan butir-butir agregat, luas bidang kontak antar butir atau bentuk butir, gradasi agregat, kepadatan campuran dan tebal film aspal.

Stabilitas terbentuk dari kondisi gesekan internal yang terjadi di antara butir-butir agregat yang saling mengunci dan mengisi serta masing-masing butir agregat yang saling terikat akibat gesekan antar butir dan adanya aspal. Kepadatan campuran menentukan pula tekanan kontak dan nilai stabilitas campuran. Pemilihan agregat bergradasi menerus akan memperkecil rongga antar agregat sehingga aspal yang dapat ditambah ke dalam campuran menjadi sedikit. Hal ini mengakibatkan film aspal menjadi tipis. Kadar aspal yang optimal akan memberikan nilai stabilitas yang maksimum.

2. Kohesi

Merupakan daya ikat aspal yang berasal dari daya lekatnya sehingga mampu memelihara tekanan kontak antar butir agregat. Daya kohesi sangat ditentukan oleh penetrasi aspal, perubahan viskositas akibat temperatur, tingkat pembebanan serta efek dari waktu dan umur aspal.

2.11.2 Keawetan (Durabilitas)

Merupakan kemampuan beton aspal menerima repetisi beban lalu lintas secara terus menerus seperti beban kendaraan dan gesekan antara roda kendaraan dan permukaan jalan, mempertahankan sifat asalnya akibat pengaruh cuaca selama masa pelayanan jalan. Sifat ini merupakan sifat dari campuran aspal, jadi tergantung dari sifat agregat, campuran dengan aspal, faktor pelaksanaan dan sebagainya.

Film aspal yang tebal akan membungkus agregat secara baik, beton aspal akan lebih kedap air sehingga kemampuannya untuk menahan keausan semakin baik. Tetapi jika semakin tebal selimut aspal, maka akan sangat mudah terjadi *bleeding* yang mengakibatkan jalan semakin licin. 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 dalam beton aspal, menyebabkan semakin mudahnya film atau selimut aspal teroksidasi dengan udara sehingga menjadi getas dan menurun durabilitas.

2.11.3 Kelenturan (Fleksibilitas)

Merupakan kemampuan beton aspal untuk menyesuaikan diri atau mengikuti deformasi yang terjadi akibat beban lalu lintas berulang-ulang tanpa terjadi retak dan

perubahan volume. Fleksibilitas pada Laston ditentukan oleh Rasio Partikel dan beberapa faktor, antara lain :

1. Jumlah aspal yang dipakai.
2. Jumlah *filler* yang dipakai.
3. Viskositas aspal yang dipakai.

2.11.4 Ketahanan terhadap Kelelahan (*Fatigue Resistance*)

Ketahanan terhadap kelelahan merupakan kemampuan beton aspal menerima lendutan berulang akibat repetisi beban tanpa terjadinya kelelahan berupa alur dan retak. Hal ini dapat tercapai jika menggunakan kadar aspal yang tinggi.

2.11.5 Kekesatan/Tahanan Geser (*Skid Resistance*)

Kekesatan/tahanan geser (*skid resistance*) adalah kemampuan permukaan beton aspal terutama pada kondisi basah untuk memberikan gaya gesek pada roda sehingga kendaraan tidak mudah tergelincir ataupun slip. Faktor-faktor pendukung untuk mendapatkan tingkat kekesatan jalan yaitu kekasaran permukaan dari butir-butir agregat, luas bidang kontak antar butir atau bentuk agregat, kepadatan campuran, tebal film aspal. Ukuran maksimum butir agregat ikut menentukan kekesatan permukaan. Dalam hal ini agregat yang digunakan tidak saja harus mempunyai permukaan yang kasar tetapi juga mempunyai daya tahan agar permukaannya tidak mudah menjadi licin akibat repetisi campuran.

2.11.6 Kedap Air (*Impermeabilitas*)

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

2.11.7 Mudah Dilaksanakan (*Workability*)

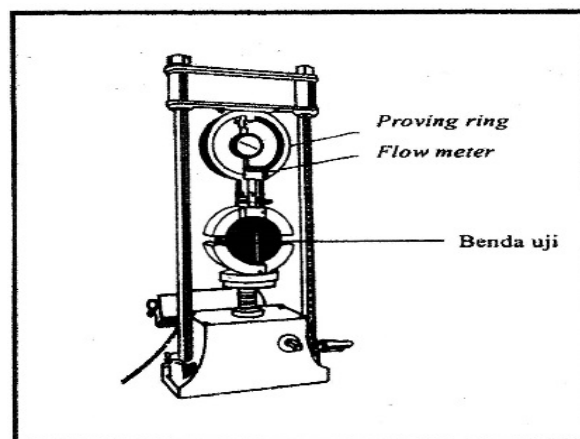
Mudah dilaksanakan adalah kemampuan campuran beton aspal untuk mudah dihamparkan dan dipadatkan. Tingkat kemudahan dalam pelaksanaan menentukan tingkat efisiensi pekerjaan. Faktor yang mempengaruhi tingkat kemudahan dalam proses penghamparan dan pemadatan adalah viskositas (kekentalan) aspal dan kepekaan aspal terhadap perubahan temperatur.

2.12 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 dilakukan variasi untuk dapat memenuhi syarat rongga udara, tebal selimut aspal, dan stabilitas.

Jadi pada metode ini rongga udara merupakan kriteria pokok bersama dengan kadar aspal efektif yang akhirnya menentukan tebal selimut aspal terjadi. Karena bertitik 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 dan *flow meter*. *Proving ring* digunakan untuk mengukur nilai stabilitas sedangkan *flow meter* berfungsi mengukur kelelahan plastis atau *flow*. Benda uji Marshall berbentuk silinder berdiameter 4 inchi (= 10,2 cm) tinggi 2,5 inchi (= 6,35 cm). Pengujian Marshall dimaksudkan untuk menguji kinerja beton aspal padat.



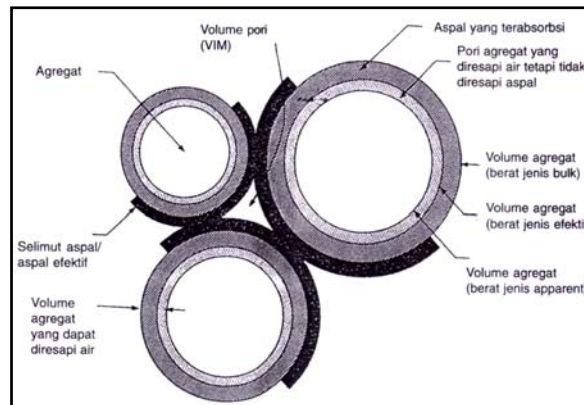
Gambar 2.4: Alat Marshall

(Sumber : Beton Aspal Campuran Panas, Silvia Sukirman, 2003)

Adapun parameter-parameter Marshall adalah sebagai berikut :

- Stabilitas, merupakan kemampuan maksimum beton aspal padat untuk menerima beban sampai terjadi kelelahan plastis.
- Kelelahan plastis (*flow*), yaitu perubahan bentuk plastis dari beton aspal padat akibat adanya beban sampai batas keruntan.
- Marshall Quotient*, merupakan perbandingan atau hasil bagi antara nilai stabilitas dan kelelahan.
- Volume Pori Beton Aspal Padat (*Void In Mix/VIM*), merupakan volume pori yang masih tersisa setelah campuran beton aspal dipadatkan. VIM dibutuhkan sebagai tempat

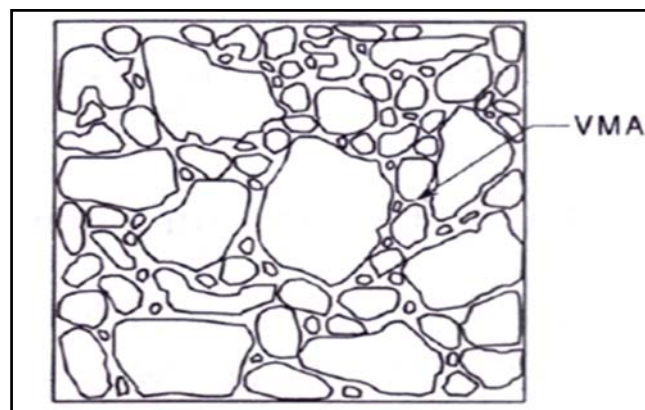
bergesernya butir-butir agregat akibat pemadatan tambahan yang terjadi oleh repetisi beban lalu lintas atau tempat jika aspal menjadi lunak akibat meningkatnya temperatur. VIM yang terlalu besar akan mengakibatkan beton aspal padat berkurang kekedapan airnya sehingga berakibat meningkatnya proses oksidasi aspal yang dapat mempercepat penuaan aspal menurunkan sifat durabilitas beton aspal sedangkan VIM yang terlalu kecil akan mengakibatkan perkerasan mengalami *bleeding* jika temperatur meningkat.



Gambar 2.5: Ilustrasi Pengertian VIM

(Sumber : *Beton Aspal Campuran Panas*, Silvia Sukirman, 2003)

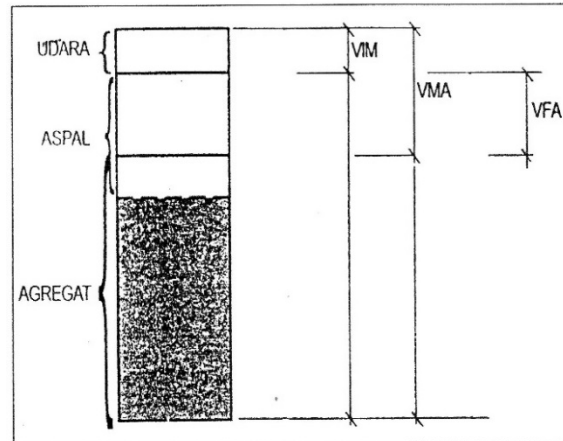
- e) Volume Pori diantara Butir Agregat Campuran (*Void in the Mineral Aggregate/VMA*), merupakan volume pori di dalam beton aspal jika seluruh selimut aspal ditiadakan. Tidak termasuk di dalam VMA volume pori di dalam butir-butir agregat. Nilai VMA akan meningkat jika selimut aspal lebih tebal.



Gambar 2.6: Ilustrasi Pengertian VMA

(Sumber : *Beton Aspal Campuran Panas*, Silvia Sukirman, 2003)

- f) Volume Pori Beton Aspal Padat yang Terisi oleh Aspal (*Volume of Voids Filled with Bitumen/VFB*), merupakan volume pori beton aspal padat yang terisi oleh aspal atau volume film/selimut aspal.



Gambar 2.7: Skema Volume Beton Aspal
(Sumber : Buku Beton Aspal Campuran Panas, Silvia Sukirman, 2003)

2.13 Hubungan Antara Kadar Aspal dan 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 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 *VFA* akan bertambah dengan bertambahnya kadar aspal, karena dalam hal ini makin banyak terisi oleh aspal.

2.14 Kadar Aspal Optimum

Kadar aspal optimum adalah nilai tengah dari rentang kadar aspal yang memenuhi semua spesifikasi campuran. Nilai kadar aspal optimum ditentukan oleh nilai parameter marshall (stabilitas, *flow*, *VIM*, *VMA*, *VFA*) yang memenuhi batas-batas spesifikasi campuran pada rentang kadar aspal $\pm 0,5\%$. Penentuan kadar aspal optimum.

Nilai-nilai yang diperoleh dari grafik hubungan kadar aspal dengan parameter marshall, dimasukkan pada diagram batang. Rentang kadar aspal yang memenuhi spesifikasi, diambil nilai tengahnya dengan rumus : $\frac{a+b}{2}$, dimana *a* merupakan kadar aspal

minimum yang memenuhi spesifikasi dan b merupakan kadar aspal maksimum yang memenuhi spesifikasi.

2.15 Rumus-Rumus untuk Menghitung Campuran Aspal Panas

1. Analisa Saringan

Analisis saringan agregat ialah penentuan persentase berat butiran agregat yang lolos dari satu set saringan kemudian angka-angka persentase digambarkan pada grafik pembagian butir. Pengujian ini bertujuan untuk memperoleh distribusi besaran atau jumlah persentase butiran agregat.

a. Persentase tertahan = $\frac{\text{Komulatif Berat Tertahan Saringan}}{\text{Berat Awal}} \times 100$ (2.1)

b. Persen lolos = 100% - Komulatif Persen Tertahan Tiap Saringan(2.2)

2. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

a. Berat jenis kering ialah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu 25°C.

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

b. Berat jenis kering permukaan jenuh yaitu perbandingan antara berat agregat kering permukaan jenuh dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu 25°C.

$$\text{Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan (SSD)} = \frac{Bj}{Bj - Ba} \text{(2.4)}$$

c. Berat jenis semu ialah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan kering pada suhu 25°C.

$$\text{Berat Jenis Semu (Apperent)} = \frac{Bk}{Bk - Ba} \text{(2.5)}$$

d. Penyerapan ialah perbandingan berat air yang dapat diserap pori terhadap berat agregat kering, dinyatakan dalam persen.

$$\text{Penyerapan Air} = \frac{Bj - Bk}{Bk} \times 100\% \text{(2.6)}$$

Dimana :

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 ialah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu 25°C.

$$\text{Berat Jenis Kering (Bulk)} = \frac{Bk}{Ba+Bj-Bt} \dots\dots\dots(2.7)$$

- b. Berat jenis kering permukaan jenuh yaitu perbandingan antara berat agregat kering permukaan jenuh dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu 25°C.

$$\text{Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan (SSD)} = \frac{Bj}{Ba+Bj-Bt} \dots\dots\dots(2.8)$$

- c. Berat jenis semu ialah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan kering pada suhu 25°C.

$$\text{Berat Jenis Semu (Apperent)} = \frac{Bk}{Ba+Bk-Bt} \dots\dots\dots(2.9)$$

- d. Penyerapan ialah perbandingan berat air yang dapat diserap pori terhadap berat agregat kering, dinyatakan dalam persen

$$\text{Penyerapan Air} = \frac{Bj-Bk}{Bk} \times 100\% \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana :

Bt = Berat piknometer + air + benda uji (gram)

4. Berat Jenis Bulk Agregat Campuran (Gsb)

Berat jenis bulk agregat mewakili berat jenis bulk dari berbagai macam campuran agregat yang terdiri dari kombinasi butiran halus sampai kasar. Berat jenis total dari campuran agregat aksar, halus, dan bahan pengisi dapat dinyatakan oleh persamaan :

$$G_{sb} = \frac{P_1+P_2+\dots+P_n}{\frac{P_1}{G_{sb1}} + \frac{P_2}{G_{sb2}} + \dots + \frac{P_n}{G_{sbn}}} \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana :

Gsb = Berat jenis bulk agregat campuran P₁, P₂,...P_n = Persentase berat masing-masing fraksi agregat terhadap berat total agregat campuran Gsb₁,Gsb₂,...

Gsbn = Berat jenis bulk dari masing-masing fraksi agregat (fraksi 1-n)

5. Berat Jenis Efektif Agregat Campuran (Gse)

$$G_{se} = \frac{100-Pa}{\frac{100}{G_{mm}} - \frac{Pa}{Ga}} \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana :

G_{se} = Berat jenis efektif dari agregat pembentuk beton aspal padat

G_{mm} = Berat jenis maksimum dari beton aspal yang belum dipadatkan

P_a = kadar aspal terhadap berat beton aspal padat (%)⁴

G_a = Berat jenis aspal

100 merupakan berat beton aspal yang belum dipadatkan (gram)

6. Berat Jenis *Bulk* Beton Aspal Padat (G_{mb})

Berat Jenis *Bulk* Beton Aspal Padat (G_{mb}) ialah perbandingan antara berat beton aspal padat dalam keadaan kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi beton aspal padat dalam keadaan jenuh.

$$G_{mb} = \frac{B_k}{B_{ssd} - B_a} \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana :

G_{mb} = berat jenis *bulk* dari beton aspal padat

B_k = berat kering beton aspal padat (gr)

B_{ssd} = berat kering permukaan beton aspal yang telah dipadatkan (gr)

B_a = berat beton aspal padat dalam air (gr)

$B_{ssd} - B_a$ = volume *bulk* dari beton aspal padat, jika berat jenis air = 1

7. Kadar Aspal yang terabsorpsi ke dalam Pori Butir Agregat (P_{ab})

Banyaknya aspal yang terabsorpsi ke dalam agregat dinyatakan sebagai persentase dari berat campuran agregat, dan disebut P_{ab} .

$$P_{ab} = 100 - \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb} \times G_{se}} \times G_a \text{ \% dari berat agregat} \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana :

P_{ab} = Kadar aspal yang terabsorpsi ke dalam pori butir agregat
= (%) dari berat agregat

G_{sb} = Berat jenis *bulk* dari agregat pembentuk beton aspal padat

G_{se} = Berat jenis efektif dari agregat pembentuk beton aspal padat

G_a = Berat jenis aspal

8. Kadar Aspal Efektif yang Menyelimuti Agregat (P_{ae})

Banyaknya aspal yang berfungsi menyelimuti permukaan setiap butir agregat adalah jumlah aspal yang dimasukkan ke dalam campuran beton aspal dikurangi bagian yang terabsorpsi ke dalam pori setiap butir agregat. Kadar aspal ini disebut kadar aspal efektif (P_{ae}), yang dinyatakan sebagai persentase terhadap berat beton aspal padat.

$$P_{ae} = P_a - \frac{P_{ab}}{100} \times P_s \text{ \% dari berat beton aspal padat} \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana :

P_{ae} = Kadar aspal efektif yang menyelimuti butir-butir agregat (%) terhadap berat beton aspal padat

9. Kadar Aspal Rencana (P_b)

Kadar aspal rencana (perkiraan kadar aspal rencana) dapat ditentukan dengan menggunakan rumus di bawah ini :

$$P_b = 0,035(\%CA) + 0,045(\%FA) + 0,18(\%filler) + K \dots \dots \dots (2.16)$$

Dimana :

P_b = Kadar aspal rencana, persen terhadap berat campuran

CA = Persen agregat tertahan saringan no. 8

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

K = Konstanta = 0.5 – 1.0 (untuk laston)

10. Volume Pori Beton Aspal Padat (*Void In Mix/VIM*)

VIM adalah banyaknya pori diantara butir-butir agregat yang diselimuti aspal, dinyatakan dalam persentase terhadap volume beton aspal padat.

$$VIM = \left(100 - 100 \cdot \frac{G_{mb}}{G_{mm}} \right) \% \text{ dari volume } \textit{bulk} \text{ beton aspal padat} \dots \dots \dots (2.17)$$

Dimana :

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

G_{mm} = berat jenis maksimum dari beton aspal yang belum dipadatkan

G_{mb} = berat jenis *bulk* beton aspal padat

11. Volume Pori dalam Agregat Campuran (*Voids In The Mineral Aggregate/VMA*).

VMA adalah banyaknya pori diantara butir-butir agregat di dalam beton aspal padat, dinyatakan dalam persentase.

$$VMA = \left(100 - \frac{G_{mb} \cdot P_s}{G_{sb}} \right) \% \text{ dari volume } \textit{bulk} \text{ beton aspal padat} \dots \dots \dots (2.18)$$

Dimana :

VMA = volume pori antara butir agregat di dalam beton aspal padat, % dari volume *bulk* beton aspal padat

G_{mb} = berat jenis *bulk* beton aspal padat

P_s = kadar agregat, % terhadap berat beton aspal padat

G_{sb} = berat jenis *bulk* dari agregat pembentuk beton aspal padat

12. Volume Pori Beton Aspal Padat yang Terisi oleh Aspal (*Volume of Voids Filled with Asphalt/VFA*)

VFA adalah bagian dari VMA yang terisi oleh aspal, tidak termasuk didalamnya aspal yang terabsorpsi oleh masing-masing butir agregat. VFA merupakan persentase volume beton aspal padat yang menjadi film atau selimut aspal.

$$VFA = \frac{100 (VMA - VIM)}{VMA} \% \text{ dari VMA} \dots\dots\dots(2.19)$$

Dimana :

VFA = volume pori antara butir agregat yang terisi aspal, % dari VMA

VMA = volume pori dalam beton aspal padat, % dari volume *bulk* beton aspal padat

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

13. Rumus Fuller (P)

$$P = 100 \left(\frac{d}{D} \right)^{0,45} \dots\dots\dots(2.20)$$

Dimana :

P = persen lolos saringan dengan bukaan saringan d (mm)

d = ukuran agregat yang diperiksa (mm)

D = ukuran maksimum agregat yang terdapat dalam campuran (mm)

14. Keausan Agregat Kasar

$$\text{Keausan} = \frac{a-b}{a} \times 100\% \dots\dots\dots(2.21)$$

Dimana :

a = Berat benda uji semula (gram)

b = berat benda uji tertahan saringan no. 12 (gram)