

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Lapis Aspal Beton (Laston)

Campuran aspal panas (*hot mix*) salah satunya adalah Lapis aspal beton (Laston) yang selanjutnya disebut *Asphalt Concrete (AC)* terdiri dari tiga jenis campuran, AC Lapis Aus (*AC-WC*), AC Lapis Antara (*AC-BC*) dan AC Lapis Pondasi (*AC-Base*) dan ukuran maksimum agregat masing – masing campuran adalah 19 mm, 25,4 mm, 37,5 mm. (Bina Marga 2010)

Lapis aspal beton (Laston) merupakan salah satu lapisan struktur Jalan raya yang terdiri atas gabungan agregat dengan aspal keras, dicampur, dihamparkan dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu, agar mendapatkan mutu pekerjaan yang baik, sesuai dengan spesifikasi, dalam hal ini fleksibel, kedap air dan mampu melayani arus lalu lintas yang melewatinya. (Sukirman 2012).

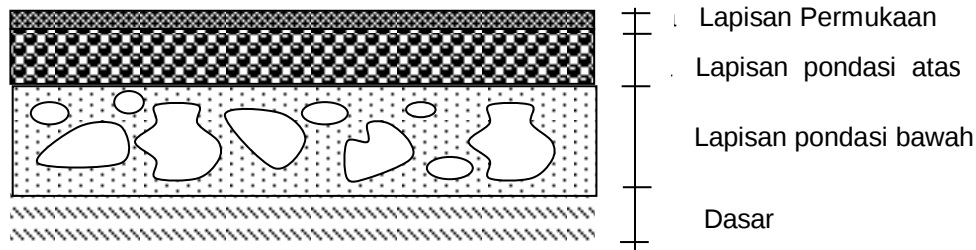
Adapun beberapa Sifat dan Fungsi Lapis Aspal Beton (Laston).

1. Fungsi Lapis Aspal Beton (Laston) yaitu :
 - a. Sebagai pendukung beban Lalu lintas
 - b. Sebagai pelindung konstruksi dibawahnya dari kerusakan akibat pengaruh air dan cuaca.
 - c. Sebagai lapis aus.
 - d. Menyediakan permukaan jalan yang rata.
2. Sifat Lapis Aspal Beton (Laston) yaitu
 - a. Tahan terhadap kerusakan akibat beban lalu lintas.
 - b. Kedap air.
 - c. Mempunyai nilai struktural yang tinggi.
 - d. Mempunyai stabilitas yang tinggi.
 - e. Peka terhadap penyimpangan perencanaan perkerasan.

2.2 Bagian - bagian Perkerasan Jalan

Menurut Sukirman 2003 ada beberapa bagian perkerasan jalan terdiri dari:

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



Gambar 2.1 : Susunan Perkerasan Jalan

Sumber : Silvia Sukirman 2010

2.2.1 Tanah Dasar (*Sub Grade*)

Tanah dasar merupakan permukaan tanah asli., permukaan galian atau permukaan tanah timbunan yang merupakan perkerasan dasar untuk perletakan bagian-bagian perkerasan lainnya. Kekuatan dan keawetan dari konstruksi jalan sangat tergantung dari sifat-sifat dan daya dukung tanah dasar.

Umumnya persoalan yang menyangkut tanah dasar adalah sebagai berikut:

1. Daya dukung tanah yang tidak merata dan sukar ditentukan secara pasti pada daerah dengan macam tanah yang sangat berbeda sifat kedudukannya.
2. Perubahan bentuk tetap (deformasi permanen) dari macam tanah tertentu akibat beban lalu lintas.
3. Lendutan (*Deflection*) dan pengembangan kenyal yang besar selama dan sesudah pembebanan lalu lintas dari macam tanah tertentu.
4. Tambahan pemadatan akibat pembebanan lalu lintas dan penurunan yang diakibatkannya yaitu pada tanah berbutiran kasar (*Granular Soils*) yang tidak dipadatkan secara baik pada saat pelaksana.
5. Sifat mengembang dari macam tanah tertentu akibat perubahan kadar air.

2.2.2 Lapis Pondasi Bawah (*Sub Base Course*)

Lapis pondasi bawah merupakan bagian perkerasan yang terletak antara lapis pondasi atas dan tanah dasar. Fungsi dari lapisan ini adalah:

1. Sebagai bagian dari konstruksi perkerasan untuk menyebarkan beban roda kendaraan.
2. Untuk mencegah tanah dasar masuk kedalam lapis pondasi atas.
3. Mencapai efisiensi penggunaan material yang relatif murah agar lapisan-lapisan selebihnya dapat dikurangi tebalnya.
4. Sebagai lapisan peresapan agar air tanah tidak mengumpul dipondasi atas maupun tanah dasar.
5. Sebagai lapisan pertama agar pelaksanaan aspal dapat berjalan lancar. Hal ini sehubungan dengan terlalu lemahnya daya dukung tanah dasar roda-roda.

kendaraan atau kondisi lapangan yang memaksa harus segera menutup tanah dasar dari pengaruh cuaca.

2.2.3 Lapis Pondasi Atas (*Base Course*)

Lapis pondasi atas adalah sebagian perkerasan yang terletak antara lapis permukaan dan lapis pondasi bawah atau bila tidak menggunakan lapis pondasi bawah dengan tanah dasar.

Kegunaan lapis pondasi atas antara lain:

1. Sebagai bagian perkerasan yang menahan gaya lintang dari beban roda.
2. Memberikan bantalan terhadap lapis permukaan.
3. Sebagai lapis peresapan untuk lapis pondasi bawah.

Bahan-bahan untuk lapisan umumnya diprioritaskan kekuatan dan keawetannya sedemikian sehingga dapat menahan gaya-gaya lintang dari beban roda. Sebelum menentukan suatu bahan untuk digunakan sebagai bahan pondasi hendaknya cukup dilakukan penyelidikan dan pertimbangan sebaik-baiknya sehubungan dengan tuntutan teknis.

2.2.4 Lapis Permukaan (*Surface*)

Lapis permukaan adalah bagian perkerasan yang paling atas yang pada umumnya ditutupi oleh aspal. Kegunaan dari lapis permukaan antara lain:

1. Lapis ini lebih kaya aspal (sekitar 5-6%) dibanding dengan lapis dibawahnya.
2. Sebagai bagian perkerasan untuk menahan gaya lintang dari beban-beban roda.
3. Sebagai lapisan rapat air untuk melindungi badan jalan dari kerusakan akibat cuaca.
4. Sebagai lapisan aus (*Wearing Course*).

Bahan-bahan untuk lapis permukaan umumnya adalah sama dengan bahan-bahan untuk lapis pondasi bawah, hanya susunan butir-butirannya (Gradasi) disyaratkan lebih berat serta penambahan bahan aspal agar lapisan dapat bersifat kedap air, disamping itu bahan aspal sendiri memberikan bantuan tegangan tarik, yang berarti mempertinggi daya dukung lapisan terhadap beban roda lalu lintas. Pemilihan bahan untuk lapisan permukaan akan juga dipertimbangkan kegunaan, umur rencana serta penahapan konstruksi, agar dicapai manfaat yang sebesar-besarnya dari biaya yang dikeluarkan.

2.3 Lapisan Aspal Beton (Laston AC-WC)

Beton aspal adalah jenis perkerasan jalan yang terdiri dari campuran agregat dan aspal, 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 yang akan digunakan. Jika semen aspal, maka pencampuran umumnya antara 145-155°C, sehingga disebut beton aspal campuran panas. Campuran ini dikenal dengan *hotmix*. (Sukirman, 2003).

Material utama penyusun suatu campuran aspal sebenarnya hanya dua macam, yaitu agregat dan aspal. Namun dalam pemakaiannya aspal dan agregat bisa menjadi bermacam-macam, tergantung kepada metode dan kepentingan yang dituju pada penyusunan suatu perkerasan.

Salah satu produk campuran aspal yang kini banyak digunakan oleh Departemen Perhubungan dan Prasarana Wilayah adalah AC-WC (*Asphalt Concrete - Wearing Course*) / Lapis Atas Aspal Beton. AC-WC adalah salah satu dari tiga macam campuran lapis aspal beton yaitu AC-WC, AC-BC dan AC-Base. Ketiga jenis Laston 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 laston lainnya. Pada campuran laston 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, harus memenuhi batas- batas dan harus berada di luar daerah larangan (*restriction zone*) yang diberikan dalam Tabel 2.4. di bawah ini dengan membandingkan dengan AC-BC yang mempunyai ukuran butir agregat maksimum 25 mm atau 1" dan AC-Base 37,5 mm atau 1½". Sedangkan AC-WC mempunyai ukuran butir agregat maksimum 19 mm atau ¾".

2.4 Komponen Campuran Lapis Aspal Beton (Laston)

Campuran Lapis Aspal Beton (Laston) terdiri dari :

- a. Agregat halus (*Fine Aggregate*).
- b. Agregat kasar (*Course Aggregate*).
- c. Bahan pengisi (*Filler*).
- d. Aspal sebagai bahan pengikat.

2.4.1 Agregat Halus (*Fine Aggregate*)

Agregat halus adalah agregat bergradasi baik yang mempunyai susunan ukuran menerus dari kasar sampai dengan halus, tetapi dominan berukuran agregat halus. (Sukirman 2003)

Agregat halus adalah agregat yang terdiri dari pasir atau pengayakan batu pecah yang lolos saringan no.4 (2,36 mm). Agregat halus harus merupakan bahan yang bersih, keras, bebas dari lempung, atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya. Ketentuan agregat halus menurut Spesifikasi Bina Marga dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Standar	Nilai
Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 60%
Angularitas dengan uji kadar rongga	SNI 03-6877 : 2002	Min. 45%
Gumpalan lempung dan Butir-butir mudah pecah dalam agregat	SNI 03-4141-1996	Maks. 1%
Agregat Lolos ayakan No.200	SNI ASTM C117-2012	Maks. 10%

Sumber : Spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3

2.4.2 Agregat Kasar (*Course Aggregate*)

Agregat merupakan komponen utama dari struktur perkerasan jalan, yaitu 90%-95% agregat berdasarkan presentase berat, atau 75%-85% agregat berdasarkan presentase volume. Dengan demikian kualitas perkerasan jalan ditentukan juga dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain. (Sukirman 2003)

Agregat kasar adalah agregat yang tertahan ayakan saringan no.4 (2,36 mm) harus bersih, keras, awet dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya (Bina Marga 2010).

Ketentuan yang harus dipenuhi oleh agregat kasar menurut spesifikasi Bina Marga dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Ketentuan Gradasi 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	Mask 30%
	Semua jenis campuran aspal bergradasi lainnya		Maks 40%
Pengujian		Standar	Nilai
Kelekatan agregat terhadap aspal		SNI 2439-2011	Min 95%
Butir pecah pada Agregat Kasar		SNI 7619-2012	95/90
Partikal pipih dan Lonjong		ASTM D4791 Perbandingan 1:5	Maks 10 %
Material lolos ayakan No. 200		SNI 03-4142-1996	Maks 2 %

Sumber : Spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3

Catatan:

1. Abrasi dengan mesin Los Angeles dengan 100 putaran harus dilakukan untuk mengetahui keseragaman mutu agregat dan nilai abrasi dengan 100 putaran tidak boleh melampaui 20% dari nilai abrasi dengan 500 putaran.
2. 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.

2.4.3 Bahan Pengisi (*Filler*)

Bahan pengisi terdiri atas debu batu kapur, semen portland, abu terbang, debu tanur tinggi pembuat semen atau bahan mineral plastis lainnya. Bahan pengisi yang merupakan mikro agregat ini harus lolos saringan No. 200 (0,075 mm) sama atau lebih banyak dari 75% terhadap beratnya. Bila mana kapur tidak terhidrasi atau terhidrasi sebagian digunakan sebagai bahan pengisi, maka proporsi maksimum yang diijinkan adalah 1 % dari berat total campuran aspal bahan pengisi yang digunakan juga harus kering dan bebas dari bahan-bahan yang tidak dikehendaki.

Secara umum manfaat filler ini bertujuan untuk menambah stabilitas serta kerapatan dari campuran. Bila dicampur dalam aspal, filler akan membentuk bahan pengikat yang berkonsistensi tinggi sehingga mengikat butiran agregat secara bersama – sama.

Pengaruh penggunaan filler terhadap karakteristik campuran aspal beton. Kadar filler dalam campuran akan mempengaruhi dalam proses pencampuran, penghamparan, dan

pemadatan. Selain itu, kadar dan jenis filler akan berpengaruh terhadap sifat elastik campuran dan sensitifitas terhadap air. Pemberian filler pada campuran lapis perkerasan sebagai agregat mengakibatkan lapis perkerasan mengalami berkurangnya kadar pori. Partikel filler menempati rongga diantara partikel – partikel besar menjadi berkurang.

2.4.3.1 Abu Sekam Padi

Padi merupakan produk utama pertanian di negara-negara agraris, termasuk Timor Leste. Sebagian besar penduduk Timor Leste mengkonsumsi beras sebagai makanan pokok. Konsumsi beras Timor Leste yang tinggi menuntut tingkat produksi beras yang besar pula.

Produksi padi menghasilkan limbah yang disebut dengan sekam. Pada umumnya penggilingan padi menghasilkan 72% beras, 5–8% dedak, dan 20–22% sekam.

Di sisi lain di daerah penelitian di Hera Timor-Leste sekam padi banyak dan mudah di dapat di daerah tersebut, namun penggunaan sekam padi belum dimanfaatkan sepenuhnya.

Sekam padi merupakan produk samping yang melimpah dari hasil penggilingan padi. Jika produksi gabah kering giling (GKG). Selama ini, pemanfaatan limbah sekam padi di Timor Leste sangat terbatas pada produk-produk yang tidak bernilai ekonomi tinggi, antara lain sebagai media tanaman hias, pembakaran untuk memasak, pembakaran bata merah, alas pada ayam/ternak petelur, dan keperluan lokal yang masih sangat sedikit karena sifatnya yang kamba (bulky), keras, dan sifat kandungan seratnya yang tidak dapat diolah menjadi produk pakan maupun kertas. Di tempat-tempat penggilingan padi pembuangan sekam kering seringkali menjadi masalah karena perlu tempat penampungan yang luas dan tertutup supaya tidak terbawa angin dan mencemari udara. Cara yang biasa dilakukan untuk mengatasi limbah sekam yaitu membakarnya di tempat terbuka seperti di sawah-sawah yang mengakibatkan pencemaran lingkungan berupa emisi gas hasil pembakaran seperti CO dan CO₂. Namun bila sekam dimasukkan ke dalam tanah sawah, akan mengganggu pertumbuhan padi karena sekam mengandung lignin dan selulosa yang cukup besar yang tidak dapat langsung terurai di dalam tanah sehingga akan menurunkan produktivitas padi. Penanganan sekam padi yang kurang tepat akan menimbulkan pencemaran terhadap lingkungan.

Sekam padi mengandung 78–80% bahan organik yang mudah menguap (lignin, selulosa, gula) yang jika dibakar akan menghasilkan sisa pembakaran berupa abu sekitar 20–22%, bahwa kandungan abu dalam sekam padi bervariasi dari 13 sampai 29% tergantung dari variasi padi, iklim dan lokasi geografisnya.

Hasil analisis komposisi kimia abu sekam padi menunjukkan kandungan silika (SiO_2) sekitar 90–99% dan sejumlah kecil alkali dan logam pengotor (Houston, 1972; Prasad, dkk., 2001). Abu sekam padi apabila dibakar secara terkontrol pada suhu tinggi ($500 - 600^\circ \text{C}$) akan menghasilkan abu silika yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai proses kimia (Putro, 2007: 33).

Sekam padi merupakan bagian terluar dari butiran padi yang merupakan hasil sampingan saat proses penggilingan padi dilakukan. Abu sekam padi merupakan hasil dari sisa pembakaran sekam padi menjadi abu, pembakaran menghilangkan zat organik dan meninggalkan sisa yang kaya akan silika. Hasil pembakaran sekam padi menunjukkan bahwa 20-30% berat abu akan diperoleh dari total berat sekam padi yang dibakar. Perlakuan panas pada sekam menghasilkan perubahan struktur yang berpengaruh pada dua hal yaitu tingkat aktifitas pozzolan dan kehalusan butiran abunya. Pozzolan adalah bahan yang mengandung senyawa silika dan alumina dimana bahan pozzolan itu sendiri tidak mempunyai sifat seperti semen, akan tetapi dengan bentuknya yang halus dan dengan adanya air, maka senyawa – senyawa tersebut akan bereaksi secara kimiawi pada suhu kamar membentuk senyawa kalsium aluminat hidrat yang mempunyai sifat seperti semen.

%	Komponen	Presentase Komposisi (%)
1	SiO_2	94,5
2	Al_2O_3	1,05
3	Fe_2O_3	1,05
4	CaO	0,25
5	MgO	0,23
6	SO_4	1,13
7	CaO bebas	-
8	Na_2O	0,78
9	K_2O	1

(Sumber: Herlina, 2005)

Gambar 2.2 Komposisi Sifat Kimiawi Abu Sekam Padi

Sumber : Herliana 2005

1. Sifat fisik abu sekam padi

Sebagaimana arang hasil pembakaran, abu sekam padi berwarna hitam. Distribusi ukuran partikel abu sekam padi dari lapangan yang digunakan dalam penelitian ini menunjukkan bahwa partikel abu sekam padi didominasi oleh ukuran 20-30 μm atau 0.02 - 0.03 mm, dan hanya sebagian kecil saja yang memiliki ukuran yang lolos 40 μm . 1 μm = 0.001 mm. Berat jenis abu sekam padi berkisar pada 1,79.

2. Sifat kimiawi abu sekam padi

Sekam padi merupakan bahan hasil sampingan produk pertanian, sekam yang dibakar mempunyai sifat pozzolan yang mengandung unsur silikat yang tinggi, rata-rata SiO_2 96,70% dengan Pozzolan Activity Index 87%. Pozzolan ini mengandung sifat sementasi jika bercampur dengan kapur padam dan air.

Berdasarkan kedua data filler diatas terdapat beberapa perbedaan yaitu pada berat jenis dan distribusi partikelnya. Berat jenis (specific gravity) adalah perbandingan berat dari suatu volume bahan pada suatu temperatur terhadap berat air dengan volume yang sama pada temperatur tersebut. Besarnya berat jenis agregat penting dalam perencanaan campuran agregat dengan aspal karena umumnya direncanakan berdasarkan perbandingan berat dan juga untuk menentukan banyaknya pori. Agregat dengan berat jenis yang kecil mempunyai volume yang besar sehingga dengan berat yang sama membutuhkan jumlah aspal yang lebih banyak. Disamping itu agregat dengan dengan pori besar membutuhkan jumlah aspal yang banyak.

2.4.3.2 Abu Batu

Abu batu adalah bahan bangunan yang merupakan hasil dari proses penghancuran bongkaran batu yang difungsikan untuk kombinasi beton. Abu batu bisa dibilang memiliki volume yang banyak dan masih dalam tahap pengembangan untuk mengurangi penggunaan pasir dalam adukan beton.

Kelebihan Abu Batu

Untuk kelebihan dari abu batu bila dibandingkan dengan menggunakan pasir, yang pertama adalah dari ukuran butirannya yang sangat kecil seperti debu atau abu dan ukurannya tersebut cukup merata ke seluruh bagiannya, sehingga dalam penggunaannya tidak diperlukan lagi proses pengayakan seperti saat kita menggunakan pasir. Ukuran abu batu yang kita beli dapat seragam seperti itu, karena abu batu telah melalui proses pengayakan di tempat pemecahan batu, sehingga kita hanya perlu memilih ukuran abu batu yang akan kita beli. Yang kedua dari segi teksturnya, abu batu memiliki tekstur yang masih sangat tajam, sehingga saat kita gunakan sebagai campuran beton akan membuat ikatan di didalam beton tersebut menjadi sangat kuat sekali, yang akhirnya dapat membuat kekuatan beton semakin meningkat.

Hal yang menyebabkan abu batu memiliki tekstur yang sangat tajam adalah karena abu batu berasal dari proses pemecahan batu, sehingga bentuk dari abu batu tersebut mengikuti tekstur batu yang dipecahkan sehingga sama-sama memiliki tekstur

yang tajam. Cukup banyak bila dibandingkan dengan menggunakan pasir sungai biasa, hal ini dapat terjadi karena abu batu memiliki tekstur yang cukup tajam sehingga dapat membuat ikatan yang cukup kuat meskipun dengan menggunakan jumlah semen yang lebih sedikit.

Sehingga jika kita melihat dalam penggunaan semen, maka dengan menggunakan abu batu kita akan lebih menghemat semen jika dibandingkan dengan kita menggunakan pasir. Pada penelitian masih lebih ekonomis sehingga jika kita melihat dalam penggunaan semen, maka dengan menggunakan abu batu kita akan lebih menghemat semen jika dibandingkan dengan kita menggunakan pasir.

2.4.4 Bahan Pengikat Aspal

Aspal adalah material yang pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat, dan bersifat termoplastis. Jadi, aspal akan mencair jika dipanaskan sampai temperatur tertentu, dan kembali membeku jika temperatur turun. Bersama dengan agregat, aspal merupakan material pembentuk campuran perkerasan jalan. Banyaknya aspal dalam campuran perkerasan berkisar antara 4-10% berdasarkan berat campuran, atau 10-15% berdasarkan volume campuran. (Sukirman 2003)

Fungsi aspal sebagai material perkerasan jalan adalah:

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

Berdasarkan tempat diperolehnya, aspal dibedakan menjadi 2 macam:

a) Aspal Alam

Aspal alam adalah aspal yang didapatkan dari suatu tempat di alam, dan dapat digunakan sebagaimana diperolehnya atau dengan sedikit pengolahan. Aspal alam diperoleh di gunung - gunung seperti aspal di Pulau Buton yang disebut dengan Asbuton merupakan batu mengandung aspal.

b) Aspal Minyak

Aspal minyak adalah aspal yang merupakan residu destilasi minyak bumi. Hasil residu berbentuk padat, tetapi melalui pengolahan dapat pula berbentuk cair dan emulsi pada suhu ruang. Dilihat dari bentuknya aspal minyak dibedakan menjadi 3 jenis yaitu:

- a. Aspal padat adalah aspal yang berbentuk padat atau semi padat pada suhu ruang dan menjadi cair jika dipanaskan.

- b. Aspal cair (*cutback asphalt*) adalah aspal berbentuk cair pada suhu ruang. Aspal cair merupakan hasil dari pengulingan minyak bumi seperti minyak tanah, bensin atau solar.
- c. Aspal emulsi (*emulsified asphalt*) adalah suatu campuran dengan air dan bahan pengemulsi, yang dilakukan di pabrik pencampur.

Tabel 2.3 Pesyaratan Aspal Keras 60/70

No	Jenis Pengujian	Metoda	Persyaratan
1	Penetrasi pada 25°C (0,1mm)	SNI 06 - 2456 – 1991	60 – 70
2	Viskositas Dinamis 60°C (Pa.s)	SNI 06-6441-2000	160 – 240
3	Viskositas Kinematis 135 °C (cSt)	SNI 06-6441-2000	≥300
4	Titik lembek (°C)	SNI 06-2434-2011	≥48
5	Duktalitas pada 25 °C, (cm)	SNI 06-2432-2011	≥100
6	Titik nyala (°C)	SNI 06-2433-2011	≥ 232
7	Kelarutan dalam Trichloroethylene (%)	ASTM T44-03	≥ 99
8	Berat jenis	SNI 06-2441-2011	≥ 1,0
9	Satibilitas Penyimpanan perbedaan titik lembek (°C)	ASTM D5976 part 6.1	-
Pengujian Residu hasil TFOT (SNI-06-2440-1991) atau RTFOT (SNI 03-6835-2002):			
10	Berat yang hilang (%)	SNI 06-2441-2011	≤ 0.8
11	Viskositas Dinamis 60°C (Pa.s)	SNI 03-6441-2000	≤ 800
12	Penetrasi pada 25 °C, (%)	SNI 06-2456-1991	≥ 54
13	Daktalitas pada 25 °C, (cm)	SNI 06-2432-2011	≥ 100
14	Keelastisan setelah Pengembalian (%)	ASSTHO T 301-98	-

Sumber : Spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3

Catatan :

- Hasil pengujian adalah untuk bahan pengikat (bitumen) yang diekraksi dengan menggunakan metode SNI 2490-2008. Sedangkan untuk pengujian kelarutan dan gradasi mineral dilaksanakan pada seluruh bahan pengikat termasuk kandungan mineralnya.
- Pabrik pembuat bahan pengikat tipe II dapat mengajukan metode pengujian alternatif viscositas bilamana sifat-sifat elastomerik atau lainnya didapat berpengaruh terhadap akurasi pengujian penetrasi, titik lembek dan standar lainnya.

3. Viscositas di uji juga pada temperatura 100°C dan 160°C untuk tipe I, dan tipe II pada temperatura 100°C dan 170°C

2.5 Sifat – Sifat Campuran

Sifat - sifat campuran yang dihasilkan harus memenuhi standar spesifikasi sebagai tertera pada tabel dibawah ini.

Tabel 2.4 Persyaratan Sifat-Sifat Campuran Laston (AC)

Sifat-Sifat Campuran		Laston		
		AC-WC	AC-BC	AC-Base
Jumlah tumbukan per bidang		75		112
Rasio partikel lolos ayakan 0,075mm dengan kadar aspal efektif	Min	1,0		
	Maks	1,4		
Rongga dalam campuran (VIM) (%)	min	3,0		
	Maks	5,0		
Rongga dalam agregat (VMA) (%)	Min	15	14	13
Rongga terisi aspal (VFA) (%)	Min	65	65	65
Stabilitas Marshall (kg)	Min	800		1500
Kelelehan Marshall (mm)	Min	2		3
	Maks	4		6
Stabilitas Marshall sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C	Min	90		
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (<i>refusal</i>)	Min	2,0		

Sumber : Spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3

2.6 Agregat Gabungan

Agregat gabungan adalah gabungan antara beberapa fraksi agregat dengan presentase tertentu untuk mendapatkan gradasi yang sesuai dengan spesifikasi. Agregat gabungan untuk campuran aspal ditunjukkan dalam persen berat agregat, harus memenuhi batas - batas dan harus berada diluar daerah larangan (*Restriction Zone*) yang diberikan dalam tabel 2.5 Gradasi Agregat Gabungan. Untuk memperoleh gradasi agregat yang sesuai dengan spesifikasi agregat, maka kombinasi agregat dapat ditentukan dari dua atau lebih fraksi agregat, yang penggabungannya dapat dilakukan dengan cara analitis atau grafis. Dalam penelitian ini digunakan metode analitis.

Menurut Sukirman 2003, agregat campuran adalah agregat yang diperoleh dalam mencampur secara proporsional fraksi agregat A, fraksi agregat B, dan fraksi agregat C. proporsi dari masing-masing fraksi agregat dirancang secara proporsional sehingga diperoleh gradasi agregat yang diinginkan. Agregat campuran adalah hasil pencampuran dari a% fraksi agregat kasar b% fraksi agregat halus dan c% abu batu dengan $a + b + c = 100\%$.

Rancangan agregat campuran dengan metode analitis dapat ditunjukkan dalam rumus dasar dari proses pencampuran dua, tiga atau lebih fraksi agregat dibawah ini:

$$P = aA + bB + cC \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

P = persen lolos saringan dengan bukaan d mm yang d inginkan, diperoleh dari spesifikasi campuran

A = persen lolos saringan fraksi agregat A untuk bukaan d mm.

B = persen lolos saringan fraksi agregat B untuk bukaan d mm.

C = persen lolos saringan fraksi agregat C untuk bukaan d mm.

a = proporsi dari fraksi agregat A.

b = proporsi dari fraksi agregat B.

c = proporsi dari fraksi agregat C.

$$(a + b + c) = 1 \text{ atau } 100\%$$

Nilai a, b, c diperoleh dengan "*Trial and error* ", karena perhitungan P yang dilakukan untuk satu ukuran saringan belum tentu secara keseluruhan dapat menghasilkan campuran yang memenuhi spesifikasi campuran. Proporsi yang terbaik adalah proporsi yang dapat menghasilkan agregat campuran bergradasi mendekati gradasi tengah rentang spesifikasi. (Sukirman 2003)

Tabel 2.5 Gradasi Agregat Untuk Campuran Aspal

Ukuran Ayakan (mm)	% Berat yang lolos terhadap total agregat dalam campuran		
	AC-WC	AC-BC	AC-BASE
37,5			100
25		100	90 – 100
19	100	90 – 100	76 – 90
12,5	90 – 100	75 – 90	60 – 78
9,5	77 – 90	66 – 82	52 – 71
4,75	53 – 69	46 – 64	35 – 54
2,36	33 – 53	30 – 49	23 – 41
1,18	21 – 40	18 – 38	13 – 30
0,600	14 – 30	12 – 28	10 – 22
0,300	9 – 22	7 – 20	6 – 15
0,150	6 – 15	5 – 13	4 – 10
0,075	4 – 9	4 – 8	3 – 7

Sumber : Spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3.

2.7 Perhitungan-Perhitungan Dalam Campuran Aspal Beton

Titik Kontrol gradasi agregat berfungsi sebagai batas-batas rentang utama yang harus ditempati oleh gradasi-gradasi tersebut. Batas-batas gradasi ditentukan pada ayakan ukuran nominal maksimum, ayakan menengah (2.36 mm) dan ayakan terkecil (0,075 mm).

2.7.1 Formula Campuran Rencana (FCR)

Perkiraan pertama kadar aspal Rencana dapat diperoleh dari rumus sebagai berikut

$$P_b = 0.035(\%CA) + 0.045 (\%FA) + 0.18 (\%FF) + K \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan :

P_b = Kadar aspal perkiraan

CA = Agregat kasar tertahan saringan N0.8

FA = Agregat halus lolos saringan No .8 dan tertahan No.200

FF = Bahan pengisi (*Filler*) lolos saringan No.200

Nilai konstanta sekitar 0.5 - 1.0 untuk Laston (AC) dan 2.0 - 3.0 untuk lataston (HRS).

Untuk mendapatkan kadar aspal optimum, terlebih dahulu dibuat benda uji dengan 5 variasi kadar aspal perkiraan yang masing - masing berbeda 0,5 %. Kadar aspal yang dipilih merupakan hasil dari perhitungan nilai kadar aspal perkiraan atau kadar aspal rencana kemudian diambil dua kadar aspal kurang dari nilai kadar aspal tengah atau kadar aspal perkiraan dan dua kadar aspal lebih besar dari nilai kadar aspal tengah atau kadar aspal perkiraan. Jika kadar aspal tengah adalah **Pb %**, maka dibuat benda ujian untuk kadar aspal (Pb -1)%, (Pb -0,5)%, Pb %, (Pb +0,5)%, (Pb +1)%.

2.8 Rumus-Rumus Untuk Campuran Beraspal

Untuk mengetahui karakteristik baik material maupun campuran aspal dapat menggunakan Rumus-rumus sebagai berikut:

1. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat kasar.

- a. Berat jenis (*Bulk Specific Gravity*) = $\frac{B_k}{(B_{ss} - B_a)}$ (2.3)

- b. Berat jenis permukaan jenuh (*Saturated Surface Dry*) = $\frac{B_j}{(B_j - B_a)}$ (2.4)

- c. Berat jenis semu (*Apparent specific Gravity*) = $\frac{B_k}{(B_k - B_a)}$ (2.5)

- d. Penyerapan (*Absorption*) = $\frac{(B_j - B_k)}{B_k}$ (2.6)

Keterangan:

Bk = Berat kering beton aspal padat (gram)

Bss = Berat kering permukaan dari beton yang telah dipadatkan (gram)

Ba = Berat beton aspal padat didalam air (gram)

2. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat halus.

- e. Berat jenis = $\frac{B_k}{(B + 500 - B_t)}$ (2.7)

- f. Berat jenis permukaan = $\frac{500}{(B + 500 - B_t)}$ (2.8)

- g. Berat jenis semu = $\frac{B_k}{(B + B_k - B_t)}$ (2.9)

- h. Penyerapan = $\frac{(500 - B_t)}{B_k}$ (2.10)

Keterangan :

B = Berat piknometer berisi air (gram)

Bt = Berat piknometer berisi benda uji dan air (gram).

3. Pemeriksaan keausan dengan mesin abrasi los Angeles.

$$\text{Keausan} = \frac{(a-b)}{a} \times 100 \% \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan :

a = Berat benda uji

b = Berat benda uji tertahan saringan No. 12 (gram).

4. Berat jenis agregat bulk

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}} \dots\dots\dots(2.12)$$

Keterangan :

Gsb = Berat jenis bulk total agregat

P1,P2,.....,Pn = Prosentase masing-masing agregat

G1,G2,....Gn = Berat jenis masing-masing agregat

5. Berat jenis Efektif Agregat

$$G_{se} = \frac{P_{mm} - P_b}{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}} \dots\dots\dots(2.13)$$

Keterangan:

Gse = Berat jenis efektif agregat

Pmm = Prosentase berat total campuran (= 100)

Gmm = berat jenis maksimum campuran, rongga udara nol

Pb = Kadar aspal berdasarkan berat jenis maksimum, persen terhadap berat total campuran.

Gb = Berat jenis aspal

6. Berat Jenis maksimum campuran dengan aspal berbeda

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}} \dots\dots\dots(2.14)$$

Keterangan:

Gse = Berat jenis efektif agregat

Pmm = Prosentase berat total campuran (= 100)

Gmm = berat jenis maksimum campuran,rongga udara nol

Pb = Kadar aspal berdasarkan berat jenis maksimum, persen terhadap berat total campuran.

Gb = Berat jenis aspal

Ps = Kadar agregat,persen terhadap berat total campuran.

7. Rongga (*Void*) diantara mineral agregat (*VMA*) terhadap berat agregat

$$VMA = 100 - \frac{Gmb}{Gsb} \times \frac{100}{(100 + Pb)} \times 100 \dots\dots\dots(2.15)$$

Keterangan :

VMA = Rongga diantar mineral agregat,persen volume bulk

Ps = Kadar agregat, persen terhadap berat total campuran

Gmb = Berat jenis bulk campuran padat (AASTHO T- 116)

Gsb = Berat jenis bulk agregat

Pb = Kadar aspal

8. Rongga didalam campuran (*VIM*)

$$VIM = 100 \times \left(\frac{Gmm - Gmb}{Gmm} \right) \dots\dots\dots(2.16)$$

Keterangan:

VIM = Rongga udara campuran, persen total campuran

Gmb = Berat jenis bulk campuran padat

Gmm = Berat jenis maksimum campuran, rongga udara nol

9. Rongga terisi aspal (*VFB*)

$$VFB = \frac{100 \times (VMA - VIM)}{VMA} \dots\dots\dots(2.17)$$

Keterangan :

VFB = Rongga terisi aspal, persen VMA

VMA = Rongga diantara mineral agregat,persen volume bulk

VIM = Rongga di dalam campuran, persen total campuran.

10. Penyerapan Aspal

$$P_{ba} = 100 \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb} \cdot G_{se}} \times G_b \dots\dots\dots(2.18)$$

Keterangan:

- P_{ba} = Penyerapan aspal, persen total agregat
- G_{se} = Berat jenis efektif agregrat
- G_{sb} = Berat jenis Bulk agregat
- G_b = Berat jenis aspal

11. Kadar Aspal Efektif

$$P_{be} = P_b - \frac{P_{ba}}{100} \times P_s \dots\dots\dots(2.19)$$

Keterangan:

- P_{be} = kadar aspal efektif, Persen total campuran
- P_{ba} = Penyerapan aspal, persen total agregat
- P_b = Kadar aspal, persen total campuran
- P_s = Kadar agregat, persen total campuran

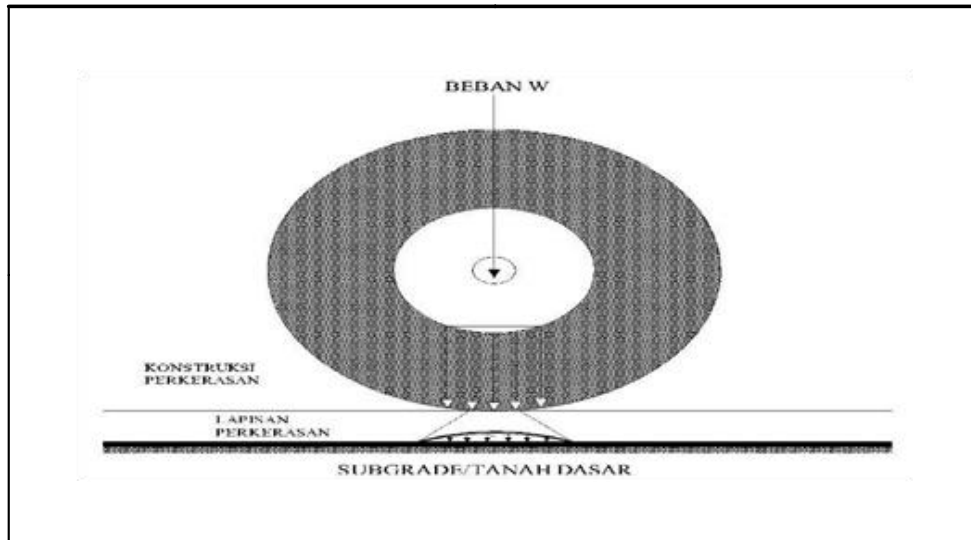
2.9 Karakteristik Umum Campuran Beraspal

Karakteristik campuran yang harus dimiliki oleh campuran aspal panas adalah: stabilitas, fleksibilitas, durabilitas, ketahanan kelelahan, tahanan geser dan kemudahan pekerjaan. (Sukirman 2003).

2.9.1 Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadinya perubahan bentuk seperti gelombang, alur, dan *bleeding*. Kebutuhan akan stabilitas sebanding dengan fungsi jalan, dan beban lalu lintas yang akan di melayani volume lalu lintas tinggi dan dominan terdiri dari kendaraan berat, membutuhkan perkerasan jalan dengan stabilitas tinggi. Sebaliknya perkerasan jalan yang diperuntukkan untuk melayani nilai stabilitas yang tinggi.

Penyebaran beban lalu lintas pada konstruksi perkerasan jalan raya dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.3. Penyebaran Beban Kendaraan

Sumber : Silvia Sukirman 2012

Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai stabilitas beton aspal adalah :

1. Gesekan internal, yang dapat berasal dari kekesaran permukaan dari 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, dan masing-masing butir saling terikat, akibat gesekan antara butir dan adanya aspal. Kepadatan campuran menentukan pula tekanan kontak, dan nilai stabilitas campuran. Pemilihan agregat bergradasi baik atau rapat akan memperkecil rongga antara agregat, sehingga aspal yang dapat ditambahkan dalam campuran menjadi sedikit. Hal ini berakibat film aspal menjadi tipis. Kadar aspal yang optimum akan memberikan nilai stabilitas yang maksimum.
2. Kohesi, adalah gaya ikat aspal yang berasal dari gaya letaknya, sehingga mampu memelihara tekanan kontak antara butir agregat. Daya kohesi terutama ditentukan oleh penetrasi aspal, perubahan viskositas akibat temperatur, tingkat pembebanan, komposisi kimiawi aspal, efek dari waktu dan umur aspal. Sifat rheologi aspal menentukan kepekaan aspal untuk mengeras dan rupa, yang akan mengurangi daya kohesinya.

2.9.2 Kelenturan (*Fleksibilitas*)

Kelenturan atau fleksibilitas adalah kemampuan beton aspal untuk menyesuaikan diri akibat penurunan (konsolidasi) pergerakan yang terjadi pada pondasi atau tanah dasar tanpa menimbulkan retak. Penurunan terjadi akibat dari repetisi beban lalu lintas ataupun penurunan akibat berat sendiri tanah timbunan yang dibuat di atas tanah asli.

Fleksibilitas yang tinggi dapat diperoleh dengan :

1. Penggunaan agregat bergradasi senjang sehingga diperoleh *Void in Mineral Aggregate (VMA)* yang besar.
2. Penggunaan aspal lunak (aspal dengan penetrasi tinggi)
3. Penggunaan aspal yang cukup banyak sehingga diperoleh *Void In Mix (VIM)* yang kecil. Fleksibilitas dapat ditingkatkan dengan mempergunakan agregat bergradasi terbuka dan kadar aspal yang tinggi.

2.9.3 Keawetan/Daya Tahan (Durabilitas)

Durabilitas diperlukan pada lapisan permukaan sehingga lapisan mampu menahan keausan akibat pengaruh cuaca, air dan perubahan suhu ataupun keausan akibat gesekan kendaraan.

Faktor-faktor yang mempengaruhi durabilitas lapis aspal beton:

1. *Film* aspal atau selimut aspal, film aspal yang tebal akan menghasilkan lapis aspal beton yang berdurabilitas tinggi, tetapi kemungkinan terjadi *bleeding* menjadi tinggi.
2. *VIM* kecil sehingga lapisan aspal kedap air dan udara tidak masuk kedalam campuran yang mengakibatkan terjadinya oksidasi dan aspal menjadi rapuh /getas.
3. *VMA* besar, sehingga film aspal dibuat besar. Jika *VMA* dan *VIM* kecil serta kadar aspal tinggi kemungkinan terjadinya *bleeding* itu besar. Untuk mencapai *VMA* yang besar ini di pergunakan agregat bergradasi senjang.

2.9.4 Ketahanan Terhadap Kelelahan (*Fatigue Resistance*)

Ketahanan kelelahan adalah ketahanan dari lapis aspal beton dalam menerima beban berulang tanpa terjadinya kelelahan yang berupa alur (*Rutting*) dan retak.

Faktor yang mempengaruhi ketahanan terhadap kelelahan adalah:

1. *Void In Mix (VIM)* yang tinggi dan kadar aspal yang rendah akan mengakibatkan kelelahan yang lebih cepat.
2. *Void in Mineral Aggregate (VMA)* yang tinggi dan kadar aspal yang tinggi dapat mengakibatkan lapis perkerasan menjadi fleksibel

2.9.5 Tahanan Geser (*Skid Resistance*)

Tahanan geser adalah kekesatan yang diberikan oleh perkerasan sehingga kendaraan tidak mengalami selip baik diwaktu hujan atau basah maupun diwaktu kering.

Kekesatan dinyatakan dengan koefisien gesek antar permukaan jalan dan ban kendaraan.

Tahan geser tinggi apabila :

1. Penggunaan kadar aspal yang tepat sehingga tidak terjadi *bleeding*.
2. Penggunaan agregat dengan permukaan kasar
3. Penggunaan agregat berbentuk kubus
4. Penggunaan agregat kasar yang cukup

2.9.6 Kemudahan Pekerjaan (*Workability*)

Kemudahan pekerjaan adalah mudahnya suatu campuran untuk dihampar dan dipadatkan sehingga diperoleh hasil yang memenuhi kepadatan yang diharapkan.

Faktor yang mempengaruhi kemudahan dalam pelaksanaan adalah :

1. Gradasi agregat, agregat bergradasi baik lebih mudah dilaksanakan dari pada agregat bergradasi lain.
2. Temperatur campuran, ikut mempengaruhi kekerasan bahan pengikat yang bersifat termoplastis.
3. Kandungan bahan pengisi (*Filler*) yang tinggi mengakibatkan pelaksanaan yang lebih sukar.

2.10 Metode Marshall

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.

Menurut Sukirman 2003, kinerja beton aspal padat ditentukan melalui pengujian benda uji yang meliputi :

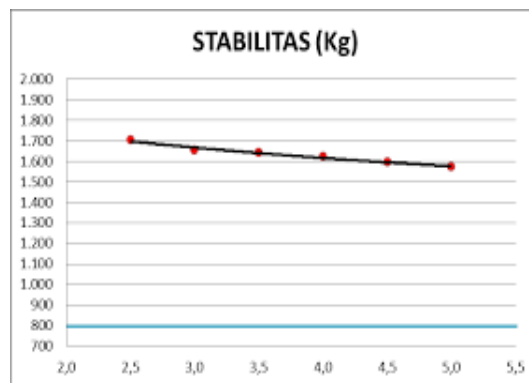
1. Penentuan berat volume benda uji
2. Pengujian nilai stabilitas, adalah kemampuan maksimum beton aspal padat menerima beban sampai kelelahan plastis.
3. Pengujian kelelahan (*flow*), adalah besarnya perubahan bentuk plastis dari beton aspal padat akibat adanya beban sampai batas keruntuhan.
4. Perhitungan kepadatan berat isi campuran aspal.

5. Perhitungan perbandingan rasio partikel bahan lolos saringan no.200 dengan kadar aspal efektif.
6. Perhitungan berbagai jenis volume pori dalam beton aspal padat (VIM, VMA, VFA)
7. Perhitungan tebal selimut atau film aspal.

2.11 Hubungan Antara Kadar Aspal Dengan Parameter *Marshall*

Kecenderungan bentuk lengkung hubungan antara kadar aspal dan parameter *Marshall* adalah :

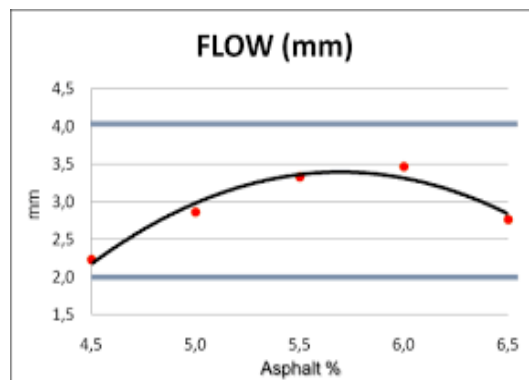
1. Stabilitas akan meningkat jika kadar aspal bertambah, sampai mencapai nilai maksimum, dan setelah itu stabilitas akan menurun.



Gambar 2.4 Grafik Stabilitas

Sumber : Google Gambar Grafik Stabilitas

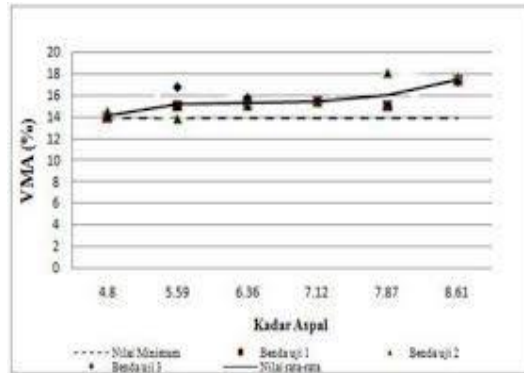
2. Kelelahan atau *Flow* akan terus meningkat dengan meningkatnya kadar aspal.



Gambar 2.5 Grafik *Flow*

Sumber : Google Gambar Grafik *Flow*

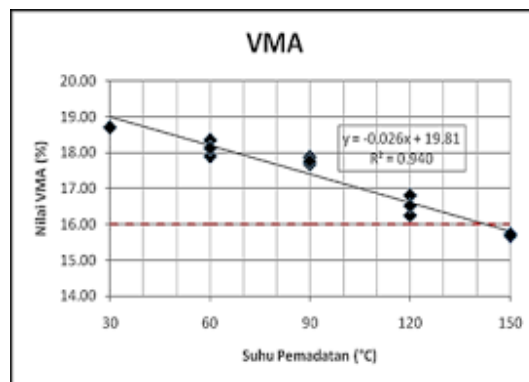
3. Lengkung *VIM* akan terus menurun dengan bertambahnya kadar aspal sampai secara ultimit mencapai nilai minimum.



Gambar 2.6 Grafik VIM

Sumber : Google Gambar Grafik VIM

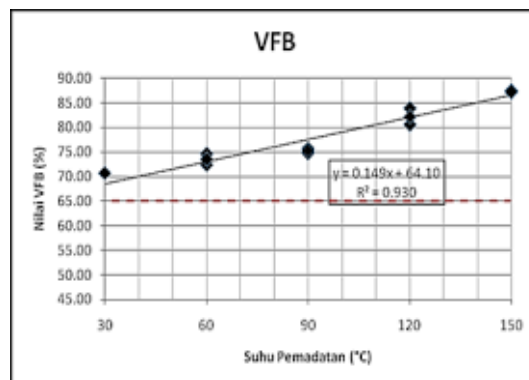
4. Lengkung VMA akan turun sampai mencapai nilai minimum dan kemudian kembali bertambah dengan bertambahnya kadar aspal.



Gambar 2.7 Grafik VMA

Sumber : Google Gambar Grafik VMA

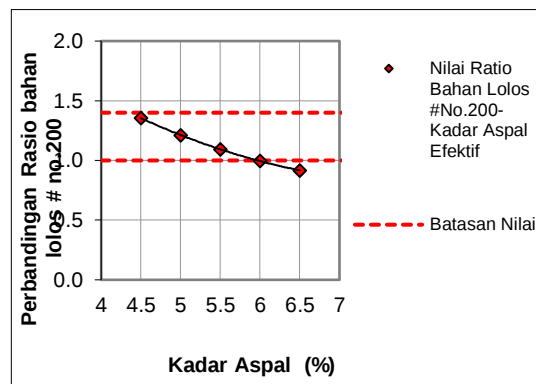
5. Lengkung VFB akan bertambah dengan bertambahnya kadar aspal, karena dalam hal ini VMA makin banyak terisi oleh aspal.



Gambar 2.8 Grafik VFB

Sumber : Google Gambar Grafik VFB

6. Lengkung rasio partikel bahan lolos #200 akan turun dengan bertambahnya kadar aspal.



Gambar 2.9 Grafik Rasio Partikel

Sumber : Hasil Uji Laboratorium 2019