

BAB II

LANDASAN TEORI

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Umum

Salah satu bahan perkerasan jalan yang telah banyak digunakan di Indonesia adalah aspal beton campuran panas. Aspal beton juga termasuk jenis konstruksi perkerasan lentur. Jenis perkerasan ini merupakan campuran antara agregat, bahan pengisi (*filler*) dan aspal sebagai bahan pengikat dengan atau tanpa bahan tambahan yang dicampur pada suhu tertentu, karena dicampur dalam keadaan panas maka sering disebut “*Hot-Mix*” (Sukirman, 2007). Pada saat pencampuran aspal beton ini, aspal keras perlu dipanaskan terlebih dahulu sampai mencapai suhu tertentu. Campuran aspal beton ini terdiri atas kombinasi agregat, aspal keras, dan bahan pengisi maupun bahan tambahan. Hasil campuran merupakan bahan yang padat dan kompak, tahan terhadap beban lalu lintas dan kedap air. Kualitas beton aspal sangat tergantung pada kualitas bahan, susunan gradasi agregat, kadar aspal dalam campuran dan keseragaman.

Dalam campuran beraspal untuk memperbaiki mutu suatu campuran aspal serta meningkatkan kualitas aspal sehingga dapat menghasilkan permukaan perkerasan yang baik adalah dengan menggunakan bahan modifikasi (Spesifikasi Bina Marga, 2010). Lapisan Aspal Beton (LASTON) adalah suatu lapisan pada konstruksi jalan raya yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat yang bergradasi menerus, dicampur, dihampar, dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu. Bahan ini umumnya digunakan sebagai lapis permukaan jalan. Laston bersifat kedap air, mempunyai nilai struktural, awet, dan kadar aspal berkisar 4 – 7 % terhadap berat campuran, dan dapat digunakan lalu lintas ringan, sedang sampai berat. Campuran ini memiliki tingkat kekakuan yang tinggi. Oleh karena itu, bahan ini tidak cocok diletakkan pada lapisan yang feleksibel, seperti lapis penetrasi. Tipe kerusakan yang umumnya terjadi pada lapisan ini adalah retak dan terlepasnya butiran. Oleh karena itu perlu adanya perbaikan pada mutu campuran dengan memperbaiki kualitas material yang digunakan dalam campuran, memodifikasi material yang digunakan maupun menambah bahan tambahan dalam campuran untuk memperbaiki kelenturan dan durabilitas perkerasan.

Laston terdiri dari tiga jenis campuran, yaitu AC Lapis Aus (AC-WC), AC Lapis Antara (AC-BC) dan AC Lapis Pondasi (AC-Base), dengan ukuran agregat maksimum masing-masing adalah 19 mm, 25,4 mm dan 37,5 mm. Tujuan umum dari rencana campuran perkerasan aspal adalah menetapkan suatu penggabungan gradasi agregat yang ekonomis, dan bahan pengikat (aspal) sehingga memenuhi kriteria sebagai berikut:

- a. Kadar aspal yang cukup untuk menjamin keawetan perkerasan.

- b. Stabilitas yang memadai sehingga memenuhi kebutuhan tanpa terjadi pemindahan/distorsi dan perubahan bentuk.
- c. Kadar rongga yang memadai didalam total campuran padat sehingga masih memungkinkan adanya sedikit tambahan pemadatan, akibat beban lalu lintas tanpa bleeding (aspal keluar dari campuran) dan hilangnya stabilitas, namun cukup rendah untuk mencegah masuknya udara dalam rongga.
- d. Proses pemadatan dan pencampuran dengan tingkat kemudahan yang cukup.
- e. Kekesatan yang cukup untuk dapat dilalui lalu lintas dengan aman.

2.2. Sifat dan Fungsi Lapis Aspal Beton

Lapis Aspal Beton (LASTON) merupakan suatu lapisan jalan yang terdiri dari campuran aspal keras, agregat yang mempunyai gradasi menerus, dicampur, dihampar, dan dipadatkan dalam keadaan panas.

1. Tujuan laston :

- a. Untuk mendapatkan suatu lapis permukaan atau lapis antara yang terdapat pada perkerasan jalan raya yang mampu memberikan sumbangan daya dukung yang terukur serta berfungsi sebagai lapis kedap air yang dapat melindungi konstruksi dibawahnya.
- b. Sebagai lapis permukaan, laston dapat memberikan kenyamanan dan keamanan tingkat tinggi.
- c. Laston dibuat melalui proses penyiapan bahan, pencampuran, pengangkutan, penghamparan serta pemadatan yang benar-benar terkendali sehingga dapat diperoleh lapisan yang memenuhi syarat.

2. Fungsi laston :

- 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.

3. Sifat laston :

- a. Tahan terhadap keausan akibat beban lalu lintas.
- b. Kedap air
- c. Mempunyai nilai struktural yang tinggi
- d. Mempunyai stabilitas yang tinggi.
- e. Peka terhadap penyimpangan perencanaan pelaksanaan.

2.3. Lapis Aspal Beton AC-WC

Salah satu produk yang digunakan oleh Departemen dan Prasarana Wilayah adalah AC-WC sebagai bahan lapis aus yang langsung berhubungan dengan ban kendaraan dan merupakan lapisan yang kedap air dan tahan terhadap cuaca. AC-WC adalah salah satu dari tiga macam campuran lapis aspal beton yaitu AC-BC (*Asphalt Concrete Binder Course*) sebagai lapisan pengikat terletak dibawah lapisan aus dan AC-Base (*Asphalt Concrete Base*) yaitu lapis aspal beton sebagai lapis pondasi. Ketiga jenis Laston tersebut merupakan konsep spesifikasi campuran aspal yang telah disempurnakan oleh Bina Marga bersama dengan Pusat Litbang Jalan.

Penggunaan AC-WC yaitu untuk lapis permukaan (paling atas) dalam perkerasan lentur dan mempunyai tekstur yang paling halus dibandingkan dengan jenis Laston lainnya. Lapis permukaan adalah bagian perkerasan yang paling atas. Lapis permukaan berfungsi antar lain:

1. Sebagai bagian perkerasan untuk menahan gaya lintang dan beban- beban roda.
2. Sebagai lapis rapat air untuk melindungi beban jalan dari kerusakan akibat cuaca.
3. Sebagai lapisan aus (*Wearing Course*)

Bahan-bahan untuk lapis permukaan umumnya adalah sama dengan bahan-bahan untuk lapis pondasi, 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 pertimbangan daya dukung lapisan terhadap beban roda lalu lintas.

Pemilihan bahan untuk lapisan permukaan akan juga mempertimbangkan kegunaan, umur rencana serta penahapan konstruksi, agar dicapai manfaat yang besar-besarnya dari biaya yang dikeluarkan. Persyaratan campuran Laston dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut ini.

Tabel. 2.1 Persyaratan Sifat Campuran Laston

Sifat-sifat campuran		Laston		
		WC	BC	Base
Penyerapan aspal (%)	Max	1,2		
Jumlah tumbukan per bidang		75		112
Rongga dalam campuran <i>VIM</i> (%)	Min	3		
	Max	5		
Rongga dalam agregat (<i>VMA</i>) (%)	Min	15	14	13
Rongga terisi aspal <i>VFB</i> (%)	Min	65	63	60
Stabilitas <i>Marshall</i> (kg)	Min	800		1500
	Max	-		-

Pelelehan /Flow (mm)	Min	3	5
Marshall Quotient (kg/mm)	Min	250	300
Stabilitas Marshall sisa (%) setelah perendaman 24 jam, 60 °C	Min	90	
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (refusal)	Min	2,5	

Sumber : Spesifikasi Bina Marga 2010

2.4. Konstruksi Perkerasan Lentur Jalan Raya

Perkerasan lentur merupakan perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikatnya. Guna untuk dapat memberikan rasa aman dan nyaman kepada pemakai jalan, maka konstruksi perkerasan jalan haruslah memenuhi syarat-syarat tertentu yang dapat dikelompokkan menjadi dua kelompok yaitu :

1. Syarat-syarat berlalu-lintas.

- Permukaan yang rata, tidak bergelombang, tidak melendut dan tidak berlubang.
- Permukaan cukup kaku, sehingga tidak mudah berubah bentuk akibat beban yang bekerja diatasnya.
- Permukaan cukup kesat, memberikan gesekan yang baik antara ban dan permukaan jalan sehingga tak mudah selip.
- Permukaan tidak mengkilap, tidak silau jika kena sinar matahari.

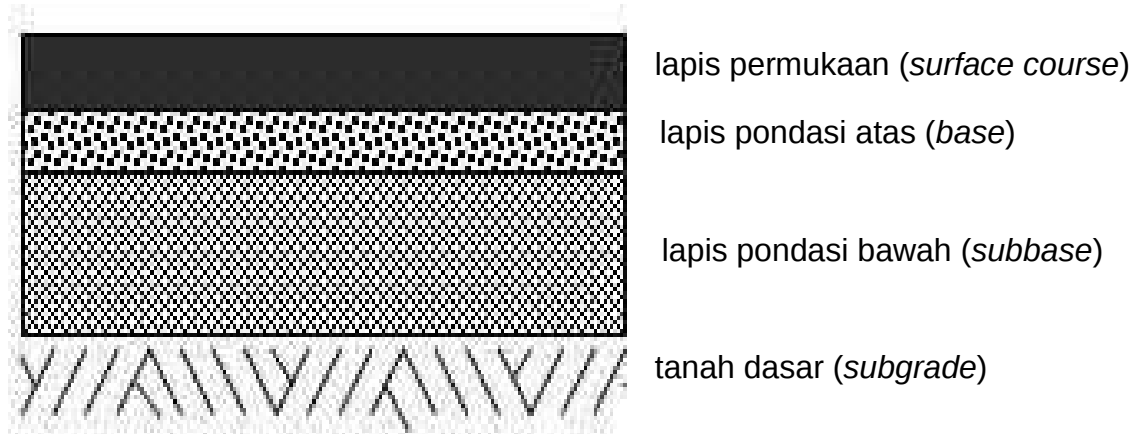
2. Syarat-syarat kekuatan/struktural.

Konstruksi perkerasan jalan dipandang dari segi kemampuan memikul dan menyebarkan beban, haruslah memenuhi syarat-syarat:

- Ketebalan yang cukup sehingga mampu menyebarkan beban/muatan lalu-lintas ke tanah dasar.
- Kedap terhadap air, sehingga air tidak mudah meresap ke lapisan di bawahnya.
- Permukaan mudah mengalirkan air, sehingga air hujan yang jatuh diatasnya dapat cepat di alirkan.
- Kekakuan untuk memikul beban yang bekerja tanpa menimbulkan deformasi yang berarti.
- Lapisan kedap air, sehingga air hujan tidak meresap ke lapisan di bawahnya yang akan mengakibatkan kerusakan pada lapisan tersebut.
- Lapis aus, lapisan yang langsung terkena gesekan akibat rem kendaraan sehingga mudah menjadi aus.
- Lapis yang menyebarkan beban ke lapisan bawahnya, sehingga dapat dipikul oleh lapisan lain.

Konstruksi perkerasan lentur terdiri dari lapisan-lapisan yang diletakkan diatas tanah dasar yang telah dipadatkan. Lapisan-lapisan tersebut berfungsi untuk menerima beban lalu-lintas dan menyebarkannya ke lapisan di bawahnya.

Adapun susunan lapis konstruksi perkerasan lentur terdiri dari :



Gambar 2.1 Struktur Lapis Perkerasan Jalan Raya

Sumber: konstruksi perkerasan lentur jalan raya

1. Lapis Permukaan (*surface course*)

Lapisan permukaan pada umumnya dibuat dengan menggunakan bahan pengikat aspal, sehingga menghasilkan lapisan yang kedap air dengan stabilitas yang tinggi dan daya tahan yang lama. Lapisan ini terletak paling atas, yang berfungsi sebagai berikut:

- Menahan beban roda, oleh karena itu lapisan perkerasan ini harus mempunyai stabilitas tinggi untuk menahan beban roda selama masa layan.
- Lapisan kedap air, sehingga air hujan tidak meresap ke lapisan di bawahnya yang akan mengakibatkan kerusakan pada lapisan tersebut.
- Lapis aus, lapisan yang langsung terkena gesekan akibat rem kendaraan sehingga mudah menjadi aus.
- Lapis yang menyebarkan beban ke lapisan bawahnya, sehingga dapat dipikul oleh lapisan lain.

Lapis permukaan ini masih bisa dibagi lagi menjadi dua lapisan lagi, yaitu:

1. Lapis Aus (*Wearing Course*)

Lapis Aus (*Wearing Course*) merupakan bagian dari lapis permukaan yang terletak di atas lapis antara (*binder course*).

Fungsi dari lapis aus adalah :

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

2. Lapis Antara (*Binder Course*)

Lapis Antara (*Binder Course*) merupakan bagian dari lapis permukaan yang terletak diatas lapis pondasi atas (*base course*) .

Fungsi dari lapis antara adalah ;

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

2. Lapis Pondasi Atas (*base course*)

Lapisan pondasi atas terletak tepat di bawah lapisan perkerasan, maka lapisan ini bertugas menerima beban yang berat. Oleh karena itu material yang digunakan harus berkualitas tinggi dan pelaksanaan di lapangan harus benar.

3. Lapis Pondasi Bawah (*subbase course*)

Lapis pondasi bawah adalah lapis perkerasan yang terletak diantara lapis pondasi dan tanah dasar. Jenis pondasi bawah yang biasa digunakan di Indonesia adalah sebagai berikut.

4. Tanah Dasar (*subgrade course*)

Lapisan paling bawah adalah lapisan tanah dasar yang dapat berupa permukaan tanah asli, tanah galian atau tanah timbunan yang menjadi dasar untuk perletakan bagian-bagian perkerasan lainnya. Perkerasan lain diletakkan di atas tanah dasar, sehingga secara keseluruhan mutu dan daya tahan seluruh konstruksi perkerasan tidak lepas dari sifat tanah dasar. Tanah dasar harus dipadatkan hingga mencapai tingkat kepadatan tertentu sehingga mempunyai daya dukung yang baik.

Suatu lapis perkerasan dikatakan baik jika memiliki:

- a. Stabilitas yang tinggi,
- b. Durabilitas yang tinggi
- c. Kelenturan atau fleksibilitas
- d. *Workability* yang baik
- e. Skid resistance (*kekesatan / ketahanan geser*) yang tinggi.

2.5. Bahan Agregat

Agregat merupakan sekumpulan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lainnya, baik berupa hasil alam maupun hasil buatan.

Pemilihan jenis agregat yang sesuai untuk digunakan pada konstruksi perkerasan dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu gradasi, kekuatan, bentuk butir, tekstur permukaan, kelekatan terhadap aspal serta kebersihan dan sifat kimia. Jenis dan campuran agregat sangat mempengaruhi daya tahan atau stabilitas suatu perkerasan jalan (Kerbs, 1971)

Berdasarkan besar ukuran ayakan agregat dibedakan menjadi tiga macam, yaitu:

1. Agregat halus
2. Agregat kasar
3. Bahan pengisi (*filler*)

2.5.1. Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat yang lolos saringan no.4 (4,75 mm). Agregat halus terdiri atas partikel yang bersih, keras, tidak mengandung lempung atau bahan yang tidak dikehendaki. Pasir, batu pecah harus diperoleh dari batu yang memenuhi ketentuan mutu agregat halus. Dalam hal ini, pasir yang kotor dan berdebu serta mempunyai partikel lolos saringan no.200 (0,075mm) lebih dari 8% atau pasir yang mempunyai nilai setara (*sand equivalent*) kurang dari 50% maka tidak diperkenankan untuk digunakan dalam campuran aspal beton. Adapun ketentuan agregat halus menurut spesifikasi Bina Marga dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2. Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Standar	Nilai
Nilai setara pasir	SNI 03 – 4428 – 1997	Min. 60%
Kadar lempung	SNI 3423 : 2008	Maks. 1%
Anguilaritas (kedalaman dari permukaan < 10 cmm)	SNI 03 - 6877 - 2002	Min 45
Anguilaritas (kedalaman dari permukaan $\geq$ 10 cmm)		Min 40

Sumber : spesifikasi Bina Marga 2010

2.5.2. Agregat Kasar

Agregat kasar adalah agregat yang tertahan diatas saringan 4,75 mm (# no.4). Fraksi agregat kasar untuk keperluan pengujian harus terdiri atas batu pecah atau kerikil pecah dan harus disediakan dalam ukuran-ukuran nominal. Agregat kasar mempunyai perkerasan lebih stabil dan mempunyai tahanan terhadap slip yang tinggi sehingga lebih menjamin kenyamanan dalam berkendara. Dalam campuran agregat aspal, agregat kasar sangat penting dalam membentuk kinerja karena stabiitas dari campuran yang diperoleh dari ikatan antar butir agregat (*interlocking*). Fungsi agregat kasar adalah untuk memberikan kekuatan campuran karena permukaannya yang kasar tidak bulat atau mempunyai bidang pecah, sehingga dapat menjadi pengunci yang baik dengan material yang lain. Agregat kasar terdiri dari batu pecah atau kerikil pecah.

Ketentuan yang harus dipenuhi oleh agrgegat kasar menurut Spesifikasi Bina Marga dapat dilihat pada tabel 2.3

Tabel 2.3. 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 3407 : 2008	Maks. 30%
	Semua jenis campuran aspal bergradasi lainnya		Maks. 40%
Kelekatan agregat terhadap aspal		SNI 2439 : 2011	Min. 95%

Angularitas (kedalaman dari permukaan < 10 cm)	<i>DonT's pennsylvania Tes Method, PTM No.621</i>	95/90
Angularitas (kedalaman dari permukaan ≥ 10 cm)		80/75
Partikel pipih dan lonjong	ASTM D4791 Perbandingan 1:5	Maks. 10%
Material lolos ayakan no.200	SNI 03-4142-1996	Maks. 1%

Sumber : Spesifikasi Bina Marga 2010

2.5.3. Bahan Pengisi (*Filler*)

Bahan pengisi (*Filler*) adalah material yang lolos saringan no. 200 (0,075 mm). *Filler* dapat berfungsi untuk mengurangi jumlah rongga dalam campuran, namun demikian jumlah *filler* harus dibatasi pada suatu batas yang menguntungkan. Terlampaui tinggi kadar *filler* cenderung menyebabkan campuran menjadi getas dan akibatnya akan mudah retak akibat beban lalu lintas, pada sisi lain kadar *filler* yang terlalu rendah menyebabkan campuran menjadi lembek pada temperatur yang relatif tinggi. Bahan pengisi (*filler*) terdiri atas debu batu kapur, semen portland, abu terbang, atau bahan mineral plastis lainnya.

Tabel 2.4. persyaratan bahan pengisi (*Filler*)

Pengujian	Standar	Nilai
Lolos saringan no.200	SNI 03 M-02-1994-03	Min 75%
Bebas dari bahan organik		Maks 4%
Berat jenis	SNI 15-2531-99	0,5-9 gr/m ³

Sumber : Spesifikasi Bina Marga, 2010

2.6. Aspal

Aspal adalah bahan hidrokarbon yang bersifat melekat (*adhesive*), berwarna hitam kecoklatan dan tahan terhadap air. Aspal sering juga disebut bitumen merupakan bahan pengikat pada campuran beraspal yang dimanfaatkan sebagai lapis permukaan perkerasan lentur. Fungsi aspal adalah sebagai bahan pengikat aspal dan agregat dan juga sebagai pengisi rongga pada agregat. Aspal akan mencair jika sampai dipanaskan sampai temperatur tertentu dan kembali membeku jika temperatur turun. Daya tahannya (*Durability*) berupa kemampuan mempertahankan sifat aspal akibat pengaruh cuaca dan tergantung pada sifat campuran dan agregat. Jenis aspal keras ditandai dengan angka penetrasi aspal. Angka menyatakan tingkat kekerasan aspal atau tingkat konsistensi aspal. Semakin besar angka penetrasi aspal maka tingkat kekerasan aspal semakin tinggi.

Terdapat berbagai macam tingkat penetrasi aspal yang dapat digunakan dalam campuran aspal antara lain aspal penetrasi 40/50, 60/70, dan 80/100. Namun di Indonesia

pada umumnya menggunakan aspal penetrasi 60/70. Aspal pada lapisan keras jalan berfungsi sebagai bahan ikat antar agregat untuk membentuk suatu campuran yang kompak, sehingga akan memberi kekuatan yang lebih besar.

Berdasarkan tempat diperolehnya, aspal dibedakan menjadi 2 macam yaitu:

1. Aspal alam

Aspal alam adalah aspal yang didapat 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. Asbuton merupakan batu yang mengandung aspal.

2. 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.

Tabel 2.5. Persyaratan Aspal Keras

No	Jenis Pengujian	Metode	Persyaratan
1	Penetrasi, 25° c, (dmm)	SNI 06-2456-1991	60 – 70
2	Viskositas 135° c (cSt)	SNI 06-6442-2000	385
3	Titik lembek (°c)	SNI 06-2434-1991	≥40
4	Indeks penetrasi	-	≥-1,0
5	Duktalitas pada 25° (%)	SNI 06-2432-1991	≥100
6	Titik nyala, °c	SNI 06-2433-1991	≥232
7	Kelarutan dalam toluene (%)	ASTM D5546	≥99
8	Berat jenis	SNI 06-2441-1991	≥1,0
9	Stabilitas penyimpanan (°c)	ASTM D5976 part 61	-
Pengujian residu hasil TFOT atau RTFOT :			
10	Berat yang hilang (%)	SNI 06-2441-1991	≤0,8 ⁽²⁾
11	Penetrasi pada 25°c (%)	SNI 06-2456-1991	≥54
12	Indeks penetrasi		≥-1,0
13	Keelastisan setelah pengembalain (%)	AASHTO T 301-98	-
14	Duktalitas 25° c, (cm)	SNI 06-2432-1991	≥100
15	Partikel yang lebih halus dari 150 micron (µm) (%)	-	-

Sumber : Spesifikasi, Bina Marga, 2010

2.7. Bahan Tambah (Aditif Anti Pengelupasan)

Bahan tambahan adalah bahan yang ditambahkan dalam campuran aspal beton selain bahan utama (agregat, aspal dan filler) dalam campuran aspal beton. Tujuan penggunaan bahan tambahan dalam campuran aspal adalah untuk menambah kekuatan pada lapisan aspal beton, dengan meningkatkan gaya ikat aspal selain daya lekat aspal itu sendiri (*kohesi*). Kohesi adalah gaya ikat aspal yang berasal dari daya lekatnya. Kohesi merupakan salah satu faktor dalam menentukan stabilitas aspal beton.

Kerentanan kelembapan adalah kecenderungan menuju pengelupasan campuran beraspal. Hilangnya integritas dari suatu campuran aspal melalui melemahnya ikatan antara agregat dan pengikat dikenal sebagai pengelupasan. Pengelupasan biasanya

dimulai di bagian bawah lapisan campuran aspal, dan secara bertahap bergerak ke atas. Situasi itu adalah hilangnya bertahap kekuatan selama bertahun-tahun, yang menyebabkan banyak yang timbul di permukaan seperti alur, lipatan, gelombang, *raveling*, dan *cracking*.

Pengelupasan atau kerusakan kelembapan dalam perkerasan aspal adalah hilangnya adhesi agregat dan aspal pengikat. Hilangnya adhesi dapat menimbulkan beberapa jenis kerusakan perkerasan seperti bergelombang, *cracking*, dan mendorong terjadinya lepasan butiran. Namun kehilangan adhesi dapat diatasi dengan bantuan bahan tambahan (*aditif*). *Aditif* anti pengelupasan ketika ditambahkan ke aspal, menggantikan kelembapan di permukaan dari adhesi agregat dan menghasilkan ikatan di permukaan agregat. Anti-strip memiliki 2 (dua) fungsi utama yaitu bersifat aktif dan pasif. Aktif *adhesi* adalah perpindahan air di agregat selama tahap pencampuran awal konstruksi hotmix.

Bahan anti pengelupasan mungkin diperlukan jika desain campuran tertentu telah terbukti rentan terhadap kelembapan yang disebabkan kerusakan. Secara umum bahan anti pengelupasan yang paling sering digunakan terdiri dari anti-pengupasan cair dan aditif kapur.

Adapun keuntungan dari penambahan bahan tambahan (*aditif*) adalah meningkatkan pelapisan aspal dengan agregat walau dalam keadaan basah, meningkatkan ikatan atau *bonding* dan anti penuaan, memperpanjang umur jalan 3-4 tahun. Namun kekurangannya ialah harga dari anti striping agent yang masih relative mahal.

Pada spesifikasi Bina Marga 2010, *Aditif* kelekatan dan anti pengelupasan (*anti striping agent*) harus ditambahkan dalam bentuk cairan kedalam campuran agregat dengan menggunakan pompa penakar (*dozing pump*) pada saat proses pencampuran basah di pugmil. Kuantitas pemakaian aditif anti striping dalam rentang 0,2% - 0,3 % terhadap berat aspal. Anti striping harus digunakan untuk semua jenis aspal tetapi tidak boleh digunakan pada aspal modifikasi yang bermuatan positif.

2.8 Karet Alam murni (mentah)

2.8.1. Sejarah Karet

Sejak semula perkembangan industri karet tergantung bukan pada pengetahuan kimia melainkan pada kemampuan orang menemukan metode yang cocok untuk memanipulasi karet. Kemajuan yang penting dalam memanipulasi karet dengan mudah terjadi pada awal abad ke-19 dari eksperimen-eksperimenseorang Skotlandia, Charles Macintosh (1766-1843) dan seorang inggris, Thomas Hancock (1786-1865). Namun metode tersebut kurang sempurna dan agak primitive. Bahan-bahan cairan pelarut (solvents) yang dipakai, biasa nya terpentin (turpentine) atau camphene, sangat mahal dan kurang sempurna.

Pada tahun 1864 perkebunan karet mulai diperkenalkan di Indonesia. Perkebunan karet dibuka oleh Hofland pada tahun tersebut di daerah Pamanukan dan Ciasem, Jawa

Barat. Pertama kali jenis yang ditanam adalah karet rambung atau *Ficus elastica*. Jenis karet *Hevea* (*Hevea brasiliensis*) baru ditanam pada tahun 1902 di daerah Sumatera Timur. Jenis ini ditanam di pulau Jawa pada tahun 1906.

Karet alam jika dipanasi menjadi lunak dan lekat, dan kemudian dapat mengalir. Karet alam larut sedikit demi sedikit dalam benzene. Akan tetapi, bilamana karet alam divulkanisasi, yakni dipanasi bersama sedikit belerang (sekitar 2%), ia menjadi bersambung-silangan dan terjadi perubahan yang luar biasa pada sifatnya. Karet yang belum divulkanisasi bersifat 'regas' ketika diregang, yakni makin melunak karena rantai nya pecah-pecah dan kusut. Namun, karet tervulkanisasi jauh lebih tahan regang. Kelarutannya berkurang dengan makin banyaknya sambung-silang, dan bahan tervulkanisasi hanya menggembung sedikit jika disimpan dalam pelarut. Jika karet divulkanisasi dengan jumlah belerang yang lebih besar (30%), dihasilkan bahan yang sangat keras dan tahan secara kimia, yang dikenal sebagai ebonite atau karet keras.

Karet adalah polimer hidrokarbon yang terbentuk dari emulsi kesusuan (dikenal sebagai latex) yang diperoleh dari getah beberapa jenis tumbuhan karet tetapi dapat juga diproduksi secara sintetis. Sumber utama dari latex yang di gunakan untuk menciptakan karet adalah pohon karet *Hevea brasiliensis* (Euphorbiaceae). Ini dapat dilakukan dengan cara melukai kulit pohon sehingga pohon akan memberikan respon yang menghasilkan lebih banyak latex lagi seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar.2.2.Karet Alam

Karet mempunyai warna putih hingga kuning kecoklatan, ban mobil berwarna hitam karena karbon yang berallotrop dengan karbon hitam ditambahkan untuk memperkuat polimer. Bila sepotong vulkanisir, karet yang berikatan silang seperti pita karet diulur kemudian dilepas maka ikatan silang itu akan menarik rantai-rantai polimer kembali ke bentuk semula. Tanpa proses vulkanisasi, rantai-rantai polimer akan meluncur lepas ke satu monomer yang lainnya.

Sesudah penemuan proses vulkanisasi oleh *Charles Goodyear* yang membuat karet menjadi tahan terhadap cuaca dan tidak larut dalam minyak, maka karet mulai digemari sebagai bahan dasar dalam pembuatan berbagai macam alat untuk keperluan dalam rumah ataupun pemakaian di luar rumah seperti sol sepatu dan bahkan sepatu yang semuanya terbuat dari bahan karet.

2.8.2. Sifat -Sifat Karet Alam.

Sifat-sifat mekanik yang baik dari karet alam menyebabkannya dapat digunakan untuk berbagai keperluan umum seperti sol sepatu dan telapak ban kendaraan. Pada suhu kamar, karet tidak berbentuk kristal padat dan juga tidak berbentuk cairan. Perbedaan karet dengan benda-benda lain, tampak nyata pada sifat karet yang lembut, fleksibel dan elastik. Sifat-sifat ini memberi kesan bahwa karet alam adalah suatu bahan semi cairan alamiah atau suatu cairan dengan kekentalan yang sangat tinggi. sifat fisik karet alam yaitu berwarna kecoklatan hingga hitam pekat, tembus cahaya, atau setengah tembus cahaya, dan berat jenis 0,91-0,93.

Dalam proses pencampuran dengan aspal karet akan mencair dengan aspal ketika mencapai suhu pencampuran. Dalam penelitian ini, suhu pencampuran aspal dan karet alam mempengaruhi perubahan sifat fisik karet alam. Partikel karet alam yang bereaksi dengan aspal akan semakin mengembang dan membentuk busa. Faktor yang sangat berpengaruh untuk distribusi karet alam dan sifat ke-homogenan aspal modifikasi ini adalah suhu pencampuran, dan proses pencampuran.

Karet alam memiliki sifat-sifat unggul sbb :

1. Karet alam bersifat keras dan elastis, tetapi akan melunak dan lengket bila berada pada suhu yang tinggi dan mengeras dan padat pada suhu rendah.
2. Memiliki daya elastisitas tinggi.
3. Memiliki ketahanan terhadap daya gesek dan kekuatan tensil rendah.
4. Tidak dapat larut dalam air, acetone, alkali.
5. Larut dalam larutan ether, carbon disulphide, carbon tetrachloride, turpentine dan minyak tanah. Memiliki plastisitas yang baik sehingga pengolahannya mudah,
6. Mempunyai daya aus yang tinggi,
7. Tidak mudah panas (*low heat build up*), dan
8. Memiliki daya tahan yang tinggi terhadap keretakan (*groove cracking resistance*). (Lukman, 1985).

Tabel.2.6. Komposisi Karet Alam (Surya I,2006)

no	Komponen	Komponen dalam Latex segar (%)	Komponen dalam Latex kering (%)
1	Karet Hidrokarbon	36	92-94
2	Protein	1,4	2,5-3,5
3	Karbohidrat	1,6	
4	Lipida	1,6	2,5-3,2
5	Persenyawaan Organik Lain	0,4	
6	Persenyawaan Anorganik	0,5	0,1-0,5
7	Air	58,5	0,3-1,0

2.8.3 Jenis karet alam

Jenis-jenis karet alam antara lain bahan olah karet, karet konvensional,lateks pekat, karet bongkah (*block rubber*), karet spesifikasi teknis (*crumbrubber*), karet siap olah (*tyre rubber*) dan karet reklim (*reclaime drubber*).

A. Bahan Olahan Karet

Bahan olahan karet adalah lateks kebun serta gumpalan lateks kebunyang diperoleh dari pohon karet. Lateks kebun, sheet angin, slab tipis dan lumpsegar merupakan contoh bahan olahan karet yang dibagi berdasarkanpengolahannya.Lat eks kebun merupakan cairan getah yang dihasilkan dari prosespenyadapan pohon karet dan belum mengalami pengolahan sama sekali.

a. Sheet Anin

Sheet Angin merupakan bahan olah karet yang dibuat dari lateks yang sudah disaring dan digumpalkan dengan asam semut. Jenis ini berupa karet *shee* yang sudah digiling tetapi belum jadi.

b. Slab Tipis

Slab Tipis merupakan bahan olah karet yang terbuat dari lateks yang sudah Digumpalkan

c Lump Segar

Lump Segar merupakan bahan olah karet yang bukan berasal dari gumpalan lateks kebun yang terjadi secara alamiah dalam mangkuk penampung.

B. Karet Konvensional

Jenis-jenis karet alam olahan yang tergolong karet konvensional adalah *Ribbed Smoked Sheet*, *White and Pale Crepe*, *Estate Brown Crepe*, *Compo Crepe*, *Thin Brown Crepe Remills*, *Thick Blanket Crepes Ambers*, *Flat Bark Crepe*, *Pure Smoked Blanket Crepe* and *Off Crepe*.

Jenis karet konvensional yang banyak diproduksi adalah *Ribbed Smoked Sheet* atau disingkat RSS. Karet ini berupa lembaran sheet yang

mendapatkan proses pengasapan dengan baik. RSS ini memiliki beberapa macam antara lain XRSS, RSS 1 hingga RSS 5.

C. Lateks Pekat

Lateks pekat berbentuk cairan pekat, tidak berbentuk lembaran atau padatan lainnya. Lateks pekat yang ada di pasaran dibuat dengan pendadihan atau creamed lateks dan melalui proses sentrifugasi. Lateks pekat banyak digunakan untuk pembuatan bahan-bahan karet yang tipis dan bermutu tinggi.

D. Karet Bongkah (*Block Rubber*).

Karet bongkah merupakan karet remah yang telah dikeringkan dan dikilang menjadi bandela-bandela dengan ukuran tertentu. Karet bongkah ada yang berwarna muda dan setiap kelasnya mempunyai kode warna tersendiri. Setiap negara memiliki masing-masing standar mutu karet bongkah. Standar mutu karet bongkah untuk Indonesia tercantum dalam SIR (*Standard Indonesian Rubber*) yang dikeluarkan berdasarkan Surat Keputusan Menteri Perdagangan No.184/Kp/VI/88 Tanggal 25 Juni 1988.

E. Karet Spesifikasi Teknis (*Crumb Rubber*)

Crumb rubber merupakan karet alam yang dibuat khusus sehingga terjamin mutu teknisnya. Penetapan mutu berdasarkan pada sifat-sifat teknis dimana warna atau penilaian visual yang menjadi dasar penentuan golongan mutu pada jenis karet *sheet*, *crepe* maupun lateks pekat tidak berlaku. *Crumb Rubber* dibuat agar dapat bersaing dengan karet sintetis yang biasanya menyertakan sifat teknis serta keistimewaan untuk jaminan mutu tiap bandelanya. *Crumb Rubber* dipak dalam bongkah-bongkah kecil, berat dan ukuran seragam, ada sertifikast uji laboratorium, dan ditutup dengan lembaran plastik polythene.

karet alam yang dibuat khusus sehingga terjamin mutu teknisnya. Penetapan mutu juga didasarkan pada sifat-sifat teknis. Warna atau penilaian visual yang menjadi dasar penentuan golongan mutu pada jenis karet *sheet*, *crepe*, maupun lateks pekat tidak berlaku untuk jenis yang satu ini tergantung dari kualitas bahan baku yang dipakai. Setiap pengolahan 100 kg lateks yang akan dibuat *crumb rubber* umumnya akan menghasilkan lebih kurang 85% karet bersih, 10% air dan 3%-5% tatal. Dari hasil uji laboratorium didapatkan bahwa tatal mempunyai kalori yang besar yaitu sekitar 3600 cal/gr.

F. *Tyre Rubber*

Tyre rubber merupakan barang setengah jadi dari karet alam sehingga dapat langsung dipakai oleh konsumen, baik untuk pembuatan ban atau barang yang menggunakan bahan baku karet alam lainnya. *Tyre rubber* memiliki beberapa kelebihan dibandingkan karet konvensional. Ban atau produk karet lain jika

menggunakan *tyre rubber* sebagai bahan bakunya memiliki mutu yang lebih baik dibandingkan jika menggunakan bahan baku karet konvensional.

G. Karet Reklam (Reclaimed Rubber)

Karet reklam merupakan karet yang diolah kembali dari barang-barang karet bekas, terutama ban-ban mobil bekas. Karet reklam biasanya digunakan sebagai bahan campuran, karena mudah mengambil bentuk dalam acuan serta daya lekat yang dimilikinya juga baik. Pemakaian karet reklam memungkinkan pengunyahan (*mastication*) dan pencampuran yang lebih cepat. Produk yang dihasilkan juga lebih kukuh dan lebih tahan lama dipakai. Kelemahan dari karet reklam adalah kurang kenyal dan kurang tahan gesekan sesuai dengan sifatnya sebagai karet daur ulang. Oleh karena itu karet reklam kurang baik digunakan untuk membuat ban. (PT Bintang Gasing Persada, 2013).

2.8.4 Manfaat Karet Alam

Badan Litbang Kementerian PU (2007), melakukan pengujian dengan menggunakan karet alam untuk meningkatkan mutu perkerasan jalan beraspal sebesar 3% dari berat aspal dengan hasil memperbaiki karakteristik aspal konvensional, meningkatkan mutu perkerasan aspal meningkatkan umur konstruksi perkerasan jalan yang ditujukan percepatan terjadinya peretakan.

. Ketika karet ditambahkan kedalam aspal maka karet akan mencair dan larut dengan aspal, sehingga volume bahan pengikat bertambah. Hal ini akan berdampak pada nilai stabilitas dan flow ini disebabkan karena sifat karet yang mudah merenggang dan sangat lentur maka akan terjadi penambahan bahan pengikat. Penambahan bahan polimer pada aspal yang bersifat plastomer dapat meningkatkan kekuatan tinggi dalam campuran aspal polimer. Pada sisi lain bahan yang bersifat elastomer seperti karet alam, maupun karet sintesis dapat memberikan aspal dengan fleksibilitas dan keelastisan yang lebih baik, termasuk juga perbaikan terhadap resistensi dan ketahanan terhadap temperatur rendah.

Proses Penambahan Karet alam murni Sebagai Bahan Tambah ke Dalam Campuran aspal beton di laboratorium. Setelah mendapatkan Kadar Aspal Optimum maka selanjutnya membuat benda uji dengan menambahkan bahan tambah karet alam murni ke dalam campuran pada saat proses penggorengan. Proses penambahan karet alam murni di laboratorium adalah sebagai berikut :

1. Panaskan karet alam murni (mentah) bersamaan dengan aspal hingga mencair sebelum menggunakan di laboratorium
2. Merancang campuran pada KAO

3. Masukan karet alam murni yang telah mencair yang sudah dicampur dengan kadar aspal yang sudah di dapat dan tuangkan kedalam wajan/kuali yang sudah terisi campuran batu pecah $\frac{3}{4}$ ", batu pecah $\frac{1}{2}$ ", abu batu, pasir dan *filler*.
4. Material dicampur dalam wajan dalam keadaan panas sampai mencapai suhu 140-155oC (proses penggorengan)
5. Dilakukan pemadatan 2 x 75 tumbukan,
6. Melakukan Pengujian *Marshall*.

Dari pengamatan terlihat bahwa masih terdapat partikel karet alam yang belum terlarut dengan sempurna pada aspal modifikasi. Menurut Feipeng Xiao, *et al*, (2006), pencampuran aspal dengan karet alam dapat menyerap cairan dan mengembang. Besarnya pengembangan atau pembengkakan tergantung dari beberapa faktor seperti faktor alam, suhu, viskositas cairan dan tipe polimer. Dalam penelitian ini, suhu pencampuran aspal dan karet alam mempengaruhi perubahan sifat fisik karet alam. Partikel karet alam yang bereaksi dengan aspal akan semakin mengembang dan membentuk jel kental (viskos) yang disebabkan oleh penyerapan Analisis pengaruh fraksi/komponen kecil dari aspal. Faktor yang sangat berpengaruh dalam pengamatan morfologi untuk distribusi karet alam dan sifat ke-homogenan aspal modifikasi ini adalah suhu pencampuran, dan proses pencampuran.

Suhu pencampuran yang rendah akan menyebabkan karet alam tidak tercampur dengan merata dalam aspal modifikasi. Sedangkan suhu pencampuran yang tinggi akan menyebabkan sifat fisik aspal memburuk. Waktu pencampuran aspal dengan karet alam juga sangat berpengaruh pada ke-homogenan aspal modifikasi. Semakin lama pencampuran aspal aspal akan semakin homogen. Namun, hal yang perlu diperhatikan juga adalah apabila *mixing time* terlalu lama, maka dapat merusak sifat aspal yang sedang dicampur pada suhu tertentu. Selain faktor pada saat proses pencampuran, faktor fisik dari karet alam tersebut juga mempengaruhi sifat ke-homogenan aspal modifikasi.

Wang Lan, *et al*, (2010), mengatakan bahwa bentuk dan tekstur yang kasar dan tidak teratur, karet alam memiliki permukaan spesifik yang lebih besar dan energi aktivasi yang lebih besar, sehingga akan sulit tercampur dengan baik dengan aspal. Partikel karet alam menyerap beberapa komponen pada aspal (S. -J. Lee, 2008). Lebih jauhnya, Wang Lan, *et al*, (2010), menjelaskan bahwa komponen atau bagian ringan pada aspal memasuki jaringan partikel karet oleh proses osmosis dan difusi yang mengakibatkan pembengkakan partikel karet dan penurunan sejumlah

larutan dalam aspal. Struktur perubahan aspal dari sol (larutan) ke gel (jeli) disebabkan karena aspal kehilangan komponen ringan yang dikandungnya.

2.9 Gradasi Agregat

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

1. Gardasi seragam.

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

2. Gradasi Menerus

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

3. Gradasi Senjang

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

2.10 Karakteristik Campuran Aspal Beton

Beton aspal dibentuk dari agregat, aspal dan atau tanpa bahan tambahan yang dicampur secara merata pada suhu tertentu. Campuran kemudian dihamparkan dan dipadatkan sehingga terbentuk beton aspal padat. Karakteristik aspal beton adalah sebagai berikut :

2.10.1 Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadinya perubahan bentuk seperti gelombang, alur dan bleeding (silvia sukirman, Beton Aspal Campuran Panas). Menurut kebutuhan akan stabilitas sebanding dengan fungsi jalan, dan 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 dipergunakan untuk melayani lalu lintas kendaraan ringan tentu tidak perlu mempunyai nilai stabilitas yang tinggi.

Campuran aspal yang mempunyai stabilitas yang cukup, pada penampilannya mampu menahan dorongan akibat pengereman (*shoving*) tanpa menimbulkan alur bekas roda kendaraan atau lendutan jalan (*ruting*) dan tetap menjaga bentuk dan kerekatan permukaannya. Oleh sebab itu nilai stabilitas yang diperlukan selalu harus dikaitkan dengan beban lalu lintas yang akan melewati jalan tersebut. Nilai stabilitas yang tinggi mengakibatkan campuran terlalu kaku (*stiff*) dan dapat mengalami retak. Disamping itu volume antara agregat (VMA) kurang, mengakibatkan kadar aspal yang dibutuhkan rendah.

Stabilitas terjadi dari hasil geseran butir, penguncian antara partikel, dan daya ikat yang baik dari lapisan aspal. Dengan demikian stabilitas yang tinggi dapat diperoleh dengan mengusahakan penggunaan :

1. Agregat dengan gradasi yang rapat
2. Agregat dengan permukaan yang kasar
3. Aspal dengan penetrasi rendah
4. Aspal dengan jumlah yang mencukupi untuk ikatan antar butir

Agregat bergradasi baik, bergradasi rapat dapat memberikan VMA yang kecil, keadaan ini menghasilkan stabilitas yang tinggi, tetapi membutuhkan kadar aspal yang rendah untuk mengikat agregat. VMA yang kecil mengakibatkan aspal yang dapat menyelimuti agregat terbatas dan menghasilkan film aspal yang tipis sehingga mudah terlepas, yang menyebabkan lapisan tidak lagi kedap air, oksidasi mudah terjadi, dan lapis perkerasan menjadi rusak. Pemakaian aspal yang banyak juga mengakibatkan lapis tidak lagi dapat menyelimuti agregat dengan baik (karena VMA kecil) dan juga menghasilkan rongga antar campuran (VIM) yang kecil. Adanya beban lalu lintas yang menambah pemadatan lapisan mengakibatkan lapisan aspal meleleh keluar yang dinamakan *bleeding*.

Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai stabilitas beton aspal adalah :

a. 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 diantara butir-butir agregat, saling mengunci, dan mengisi butir-butir agregat, dan masing-masing butir saling terikat, akibat gesekan antar butir dan adanya aspal. Kadar aspal yang optimal akan memberikan nilai stabilitas yang maksimum.

b. Kohesi

Kohesi adalah daya ikat aspal yang berasal dari daya lekatnya sehingga mampu memelihara tekanan kontak, antar butir agregat. Kohesi akan bergantung dari

kekentalan (*viscosity*), kadar aspal dan temperatur. Nilai kohesi akan naik apabila *viscosity* aspal semakin tinggi. Kohesi suatu campuran juga akan naiknya kadar aspal yang dipakai, sampai suatu batas tertentu. Diluar batas tersebut, menambah jumlah kadar aspal akan menyebabkan tebal selimut aspal (*filmthickness*) pada agregat yang berlebihan akan menyebabkan kehilangan gesekan pada partikel (*lose inter-particle friction*).

2.10.2 Keawetan (*Durabilitas*)

Keawetan atau daya tahan (*Durabilitas*) merupakan kemampuan beton aspal untuk menerima repetisi beban lalu lintas secara terus menerus, serta menahan keausan akibat cuaca dan iklim seperti udara, air, dan perubahan temperatur.

Faktor yang mempengaruhi durabilitas lapis aspal beton adalah :

- a. Film aspal atau selimut aspal, film aspal yang tebal akan dapat menghasilkan lapis aspal beton yang berdurabilitas tinggi, tapi kemungkinan terjadi lapisan aspal meleleh keluar (*blending*) menjadi tinggi.
- b. VIM (Ronga Antar Campuran) kecil sehingga lapis kedapa air dan udara tidak masuk kedalam campuran yang dapat menyebabkan terjadinya oksidasi dan aspal menjadi rapuh.
- c. VMA (Rongga Antar Butiran Agregat) besar, sehingga film aspal dapat dibuat tebal. Jika VMA dan VIM kecil serta kadar aspal tinggi, kemungkinan terjadinya *blending* besar. Untuk mencapai VMA yang besar ini dipergunakan agregat bergradasi senjang.

2.10.3 Kelenturan (*Fleksibilitas*)

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

2.10.4 Tahanan Geser / Kekesatan (*Skid Resistance*)

Tahanan geser adalah kemampuan permukaan beton aspal terutam terhadap kondisi basah untuk memberikan gaya gesek pada roda sehingga kendaraan tidak mudah tergelincir atau 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 dan tebal film aspal. Ukuran maksimum butir agregat ikut menentukan kekesatan permukaan. Dalam hal ini, agregat yang digunakan tidak saja harus mempunyai permukaan yang kasar tetapi juga mempunyai daya tahan agar pemukaannya tidak mudah menjadi licin akibat reoitisi kendaraan dengan kata lain penggunaan agregat kasar yang cukup.

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

Faktor yang mempengaruhi ketahanan terhadap kelelahan adalah :

- a. Film yang tinggi dan kadar aspal yang rendah akan mengakibatkan kelelahan yang lebih cepat.
- b. VMA yang tinggi dan kadar aspal yang tinggi dapat mengakibatkan lapis perkerasan menjadi fleksibel.

2.10.5 Kedap Air (*Impermeabilitas*)

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

2.10.6 Mudah Dilaksanakan (*Workability*)

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

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

2.11 Parameter Pengujian Marshall

Beton aspal dibentuk dengan agregat, aspal dan atau tanpa bahan tambahan yang dicampur secara merata pada suhu tertentu. Campuran kemudian dihamparkan dan dipadatkan sehingga terbentuk beton aspal padat.

Karakteristik campuran aspal panas agregat aspal dapat diukur dengan sifat-sifat Marshall yang ditunjukkan pada nilai-nilai sebagai berikut :

1. Kerapatan (*Density*)

Density merupakan tingkat kerapatan campuran setelah dipadatkan. Semakin tinggi density suatu campuran menunjukkan bahwa kerapatannya semakin baik. Nilai density dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti gradasi campuran, jenis dan kualitas bahan penyusun, faktor pemadatan yang baik jumlah pemadatan maupun temperatur pemadatan, penggunaan kadar aspal dan penambahan bahan aditif dalam campuran. Campuran

dengan nilai density yang tinggi akan mampu menahan beban yang lebih besar dibanding dengan campuran yang memiliki density yang rendah, karena butiran agregat mempunyai bidang kontak yang luas sehingga gaya gesek (*friction*) antar butiran agregat lebih besar. Selain itu *density* juga mempengaruhi kekompakan campuran, semakin besar kepadatan terhadap campuran, semakin padat terhadap air dan udara.

2. Stabilitas (*stability*)

Stabilitas merupakan kemampuan lapis keras untuk menahan deformasi akibat beban lalu lintas yang bekerja di atasnya tanpa mengalami perubahan bentuk tetap seperti gelombang (*washboarding*) dan alur (*rutting*). Nilai stabilitas dipengaruhi oleh bentuk, kualitas, tekstur permukaan dan gradasi agregat yaitu gesekan antar butiran agregat (*internal friction*) dan penguncian antar agregat (*interlocking*), daya lekat (*cohesion*) dan kadar aspal dalam campuran. Penggunaan aspal dalam campuran akan menentukan nilai stabilitas campuran tersebut. Seiring dengan penambahan aspal, nilai stabilitas campuran aspal akan meningkat hingga batas maksimum. Penambahan aspal di atas batas maksimum justru akan menurunkan stabilitas campuran itu sendiri sehingga lapis perkerasan menjadi kaku dan bersifat getas. Nilai stabilitas berpengaruh pada fleksibilitas lapis perkerasan yang dihasilkan dan stabilitas dinyatakan dalam kilogram.

Nilai stabilitas yang diisyaratkan adalah lebih dari 800 kg. Lapis perkerasan dengan stabilitas kurang dari 800 kg akan mudah mengalami *rutting*, karena perkerasan bersifat lembek sehingga kurang mampu mendukung beban. Sebaliknya jika stabilitas perkerasan terlalu tinggi maka perkerasan akan mudah retak karena sifat perkerasan menjadi kaku.

3. Rongga antar agregat, VMA (*Void in the Mineral Aggregate*)

Void in the Mineral Agregat (VMA) adalah rongga udara antar butir agregat aspal padat, termasuk rongga udara dan kadar aspal efektif yang dinyatakan dalam persen terhadap total volume. Kuantitas rongga udara berpengaruh terhadap kinerja suatu campuran karena jika VMA terlalu kecil maka campuran bisa mengalami masalah durabilitas dan jika VMA terlalu besar maka campuran akan memperlihatkan masalah stabilitas dan tidak ekonomis untuk diproduksi. Nilai VMA dipengaruhi oleh faktor pemadatan, yaitu data dan temperatur pemadatan, gradasi agregat dan kadar aspal. Nilai VMA ini berpengaruh pada sifat kekompakan campuran terhadap air dan udara serta sifat elastis campuran. Dapat juga dikatakan bahwa nilai VMA menentukan stabilitas, fleksibilitas dan durabilitas. Nilai VMA yang diisyaratkan adalah minimum 15%. Jika komposisi campuran ditentukan sebagai persen agregat.

4. Rongga udara, VIM (*Void in the Mix*)

Void in the Mix (VIM) merupakan presentase rongga yang terdapat dalam total campuran. Nilai VIM berpengaruh terhadap keawetan lapis perkerasan, semakin tinggi nilai

VIM menunjukkan semakin besar rongga dalam campuran sehingga campuran bersifat poros. Hal ini mengakibatkan campuran menjadi kurang rapat sehingga air dan udara mudah memasuki rongga-rongga dalam campuran yang mengakibatkan aspal mudah teroksidasi sehingga menyebabkan lekatan antar butiran agregat berkurang sehingga terjadi pelepasan butiran (*reveling*) dan pengelupasan permukaan (*stripping*) pada lapis perkerasan.

Nilai VIM yang terlalu rendah akan menyebabkan bleeding karena suhu yang tinggi, maka viskositas aspal menurun sesuai sifat termoplastisnya. Pada saat itu apabila lapis perkerasan menerima beban lalu lintas maka aspal akan terdesak keluar permukaan karena tidak cukupnya rongga bagi aspal untuk melakukan penetrasi dalam lapisan perkerasan, karena rongga yang terlalu besar akan mudah terjadi oksidasi.

5. Rongga terisi aspal, VFA (*Void Filled with Asphalt*)

Void Filled with Asphalt (VFA) merupakan presentase rongga terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan yaitu jumlah dan temperatur pemadatan, gradasi agregat dan kadar aspal. Nilai VFA berpengaruh pada sifat kedapan campuran terhadap air dan udara serta sifat campuran elastisitas campuran. Dengan kata lain VFA menentukan stabilitas fleksibilitas dan durabilitas. Semakin tinggi nilai VFA berarti semakin banyak rongga dan campuran yang terisi aspal sehingga kedapan campuran terhadap air dan udara juga semakin tinggi, tetapi nilai VFA terlalu tinggi akan mengakibatkan bleeding. Nilai VFA yang terlalu kecil akan menyebabkan campuran kurang kedap terhadap air dan udara karena lapisan film aspal akan menjadi tipis dan akan mudah retak bila menerima penambahan beban sehingga campuran aspal mudah teroksidasi dan akhirnya menyebabkan lapis perkerasan tidak akan lama.

6. Kelelahan (*flow*)

Kelelahan (*flow*) adalah besarnya deformasi vertikal benda uji yang terjadi pada awal pembebanan sehingga durabilitas menurun, yang menunjukkan besarnya deformasi yang terjadi pada lapis perkerasan akibat menahan beban yang diterimanya. Deformasi yang terjadi erat kaitannya dengan sifat-sifat Marshall yang lain seperti stabilitas, VIM, dan VFA. Nilai VIM yang besar menyebabkan berkurangnya interlocking resistance campuran dan berakibat timbulnya deformasi. Nilai VFA yang berlebihan juga menyebabkan aspal dalam campuran berubah konsistensinya menjadi pelicin antar batuan. Nilai *flow* dipengaruhi oleh kadar dan viskositas aspal, gradasi agregat jumlah dan temperatur pemadatan. Campuran yang memiliki angka kelelahan rendah dan stabilitas tinggi cenderung menjadi kaku dan getas. Sedangkan campuran yang memiliki angka kelelahan tinggi dan stabilitas rendah cenderung plastis dengan mudah berubah bentuk apabila mendapat beban lalu lintas.

Kerapatan campuran yang baik, kadar aspal yang cukup dan stabilitas yang baik akan memberikan pengaruh penurunan nilai *flow*.

Nilai *flow* yang rendah akan mengakibatkan campuran menjadi kaku sehingga lapis perkerasan menjadi mudah retak, sedangkan campuran dengan nilai *flow* tinggi akan menghasilkan lapis perkerasan yang plastis sehingga perkerasan akan mudah mengalami perubahan bentuk seperti gelombang (*washboarding*) dan alur (*ruting*)

7. Hasil Bagi Marshall (*Marshall Quotient*)

MQ merupakan hasil bagi antara stabilitas dengan *flow*. Nilai MQ akan memberikan nilai fleksibilitas campuran. Semakin besar nilai MQ berarti campuran semakin kaku, sebaliknya bila semakin kecil nilainya makanya campuran semakin lentur. Nilai MQ dipengaruhi oleh stabilitas dan *flow*. Nilai MQ diisyaratkan minimal 250kg/mm. Nilai MQ dibawah 250kg/mm mengakibatkan perkerasan mudah mengalami *washboarding*, *ruting*, dan *bleeding*.

8. *Retained stability*

Kehilangan stabilitas berdasarkan perendaman diukur sebagai ketahanan terhadap akibat pengaruh kerusakan oleh indeks perendaman yang dinyatakan dalam persen(%). Parameter ini akan dipakai sebagai indikasi ketahanan campuran terhadap pengaruh air.

2.12 Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Parameter *Marshall*

Kecendrungan bentuk lengkung hubungan antara kadar aspal dengan parameter Marshall adalah :

- Stabilitas akan meningkat jika kadar aspal bertambah, sampai mencapai nilai maksimum dan setelah nilai stabilitas itu menurun.
- Kelelahan atau *flow* akan terus meningkat dengan meningkatnya kadar aspal.
- 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.
- Lengkung VIM akan terus menurun dengan bertambahnya kadar aspal sampai secara ultimit mencapai nilai minimum.
- Lengkung VMA akan turun sampai mencapai nilai minimum dan kemudian kembali bertambahnya kadar aspal
- Lengkung FVA akan bertambah dengan bertambahnya kadar aspal, karena dalam hal ini makin banyak terisi oleh aspal.

2.13 Rumus - Rumus Untuk Campuran Beraspal

Rumus - rumus yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Rancangan agregat campuran dengan metode analitis

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

Dengan :

P = Persen lolos saringan dengan bukaan d mm yang di 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.

2. Analisa saringan

$$a. \text{ Persen tertahan} = \frac{\text{komulatif berat tertahan}}{\text{berat awal}} \times 100 \dots\dots\dots(2.2)$$

$$b. \text{ Persen lolos} = 100\% - \text{Komulatif persen terhadap tiap saringan} \dots\dots(2.3)$$

3. Pemeriksaan berat jenis penyerapan agregat kasar (SK SNI M-08-1986)

$$a. \text{ Berat jenis kering (Bulk specific gravity)} = \frac{(B_k)}{(B_j - B_a)} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$b. \text{ Berat jenis kering permukaan jenuh atau SSD (Saturated Surface Dry)} \\ = \frac{B_j}{B_j - B_a} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$c. \text{ Berat jenis semu (Apparent specific gravity)} = \frac{(B_k)}{(B_k - B_a)} \dots\dots\dots(2.6)$$

$$d. \text{ Penyerapan (Absorption)} \\ = \frac{(B_j - B_k)}{(B_k)} \times 100\% \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan :

B_k = Berat uji kering oven (gram)

B_j = Berat benda uji kering permukaan jenuh (gram)

B_a = Berat benda uji kering permukaan jenuh di dalam air (gram)

4. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat halus

$$a. \text{ Berat jenis} = \frac{(B_k)}{(B + 500 - B_t)} \dots\dots\dots(2.8)$$

$$b. \text{ Berat jenis permukaan} = \frac{500}{(B+500-Bt)} \dots\dots\dots(2.9)$$

$$c. \text{ Berat jenis semu} = \frac{(Bk)}{(B+Bk-Bt)} \dots\dots\dots(2.10)$$

$$d. \text{ Penyerapan} = \frac{(500-Bt)}{Bk} \times 100\% \dots\dots\dots(2.11)$$

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

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

Dengan :

Gsb = berat jenis bulk / curah agregat campuran

P1, P2,, P3 = Persentase berat masing-masing fraksi agregat terhadap berat total agregat campuran

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

6. Berat jenis semu (Gsa)

$$Gsa = \frac{P1+P2+\dots+Pn}{\frac{P1}{G1} + \frac{P2}{G2} + \dots + \frac{Pn}{Gn}} \dots\dots\dots(2.13)$$

Dengan :

Gsa = berat jenis semu agregat campuran

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

7. Berat Jenis Efektif Agregat Campuran (Gse)

$$Gse = \frac{100-Pa}{\frac{100}{Gmm} - \frac{Pa}{Ga}} \dots\dots\dots(2.14)$$

Keterangan :

Gse = Berta jenis dari agregat pembentuk beton aspal padat

Gmm = Berat jenis maksimum dari beton aspal

Pa = % aspal, persen dari berat total campuran

Ga = Berat jenis aspal

100 = Berat beton aspal yang belum dipadatkan (gram)

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

$$Gmm = \frac{100}{\frac{Ps}{Gse} - \frac{Pa}{Gs}} \dots\dots\dots(2.15)$$

Dengan :

Gmm = Berat jenis maksimum dari beton aspal yang belum dipadatkan

Ps = % agregat, persen dari berat total campuran

9. Berat jenis contoh campuran padat (Gmb)

$$Gmb = \frac{Bk}{Bssd+Ba} \dots\dots\dots(2.16)$$

10. Penyerapan aspal (Pab)

$$Pab = 100 \frac{(Gse - Gsb)}{Gsb \times Gse} Ga \dots\dots\dots (2.17)$$

Dengan :

Gse = Berat jenis bulk dari agregat pembentuk beton aspal padat

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

11. Kadar aspal efektif yang menyelimuti agregat (Pae)

$$Pae = pa - \frac{Pab}{100} \times Ps \dots\dots\dots (2.18)$$

Dengan

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

12. Kadar aspal Rencana (Pb)

$$Pb = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%filler) + K \dots\dots\dots (2.19)$$

Dengan :

Pb = Kadar aspal tengah

CA = Persen agregat tertahan saringan no 8

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

K = Konstanta = 0,5 – 1,0

13. Volume pori dalam agregat campuran (VMA), sebagai presentase dari berat beton aspal padat

$$VMA = (100 - \frac{Gmb \times Ps}{Gsb}) \dots\dots\dots (2.20)$$

Keterangan :

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

Gmb = Berat jenis bulk beton aspal padat

Gsb = Berat jenis bulk dari agregat pembentuk beton aspal padat

Ps = Kadar agregat, persen terhadap beton aspal padat

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

$$VMA = ((100 - \frac{Gmb \times Ps}{Gsb}) \times \frac{100}{100 + Pa} \times 100\%) \dots\dots\dots (2.21)$$

Dengan :

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

Gmb = Berat jenis bulk beton aspal padat

Gsb = Berat jenis bulk dari agregat pembentuk beton aspal padat

Pa = Kadar agregat, persen terhadap beton aspal padat

15. Volume pori dalam beton aspal padat (VIM)

$$VIM = 100 \times \frac{Gmm - Gmb}{Gmm} \dots\dots\dots (2.22)$$

Dengan :

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

Gmb = Berat jenis bulk beton aspal padat

Gsb = Berat jenis bulk dari agregat pembentuk beton aspal padat

Pa = Kadar agregat, persen terhadap beton aspal padat

16. Rumus Filler (P)

$$P = 100 \frac{d}{D} - 0,45 \dots\dots\dots(2.23)$$

P = Persen lolos saringan dengan bukaan saringan d mm

d = Ukuran agregat yang diperiksa (mm)

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

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

$$VFA = 100 - \frac{(VMA - VIM)}{VMA} \dots\dots\dots(2.24)$$

Dengan :

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

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

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

18. Keausan Agregat Kasar

$$\text{Keausan} = \frac{(a-b)}{a} \times 100\% \dots\dots\dots(2.25)$$

Dengan :

a = Berat benda uji semula (gram)

b = Berat benda uji tertahan no. 12 (gram)

