

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Lapis Perkerasan jalan adalah suatu lapisan yang terletak di atas tanah dasar (*sub grade*) yang telah dipadatkan dan berfungsi untuk memikul beban lalu-lintas. Selanjutnya beban tersebut diteruskan dan disebarkan ke tanah dasar sedemikian sehingga tanah dasar tidak menerima beban melebihi daya dukungnya. Untuk dapat memenuhi fungsi tersebut konstruksi jalan harus direncanakan dan dibangun sedemikian rupa sehingga mampu mengatasi pengaruh beban lalu-lintas maupun kondisi lingkungan. Konstruksi lapis perkerasan pada umumnya secara sederhana dibagi menjadi dua jenis yaitu:

1. Lapis perkerasan lentur (*flexible pavement*) yaitu lapis perkerasan yang menggunakan bahan ikat aspal.
2. Lapis perkerasan kaku / tegar (*rigid pavement*) yaitu lapis perkerasan dengan bahan ikat semen portland.

Flexible pavement adalah lapisan perkerasan yang bersifat melentur, dengan struktur berlapis, bahan pengikat aspal dengan agregat halus dan kasar sebagai pengisi material. Keuntungan yang didapat dari penggunaan lapisan perkerasan jalan ini adalah sebagai berikut:

1. Bersifat ekonomis, karena berdasarkan penyebaran gaya luas tekanan yang dihasilkan kendaraan semakin ke bawah semakin besar, sehingga mutu bahan perkerasan yang digunakan harus berdasarkan asumsi di atas, semakin ke bawah mutu material semakin rendah;
2. Aspal merupakan material perkerasan jalan yang memiliki sifat tahan tarik, sehingga tidak mudah retak atau pecah dan lentur.

2.2 Beton Aspal

Beton aspal adalah tipe campuran pada lapisan penutup konstruksi perkerasan jalan yang mempunyai nilai struktural dengan kualitas yang tinggi, terdiri atas agregat yang berkualitas yang dicampur dengan aspal sebagai bahan

pengikatnya. Material-material pembentuk beton aspal dicampur di instalasi pencampur pada suhu tertentu, kemudian diangkut ke lokasi, dihamparkan, dan dipadatkan. Suhu pencampuran ditentukan berdasarkan jenis aspal apa yang akan digunakan.

Dalam pencampuran aspal harus dipanaskan untuk memperoleh tingkat kecairan (viskositas) yang tinggi agar dapat mendapatkan mutu campuran yang baik dan kemudahan dalam pelaksanaan. Pemilihan jenis aspal yang akan digunakan ditentukan atas dasar iklim, kepadatan lalu lintas dan jenis konstruksi yang akan digunakan.

2.2.1 Jenis beton aspal

Menurut Silvia Sukirman, jenis beton aspal dapat dibedakan berdasarkan suhu pencampuran material pembentuk beton aspal, dan fungsi beton aspal. Berdasarkan temperatur ketika mencampur dan memadatkan campuran, campuran beraspal (beton aspal) dapat dibedakan atas:

1. Beton aspal campuran panas (*hot mix*) adalah beton aspal yang material pembentuknya di campur pada suhu pencampuran sekitar 140°C.
2. Beton aspal campuran sedang (*warm mix*) adalah beton aspal yang material pembentuknya di campur pada suhu pencampuran 60°C.
3. Beton aspal campuran dingin (*cold mix*) adalah beton aspal yang material pembentuknya di campur pada suhu pencampuran sekitar 25°C.

Sedangkan berdasarkan fungsinya beton aspal dapat dibedakan atas :

1. Beton aspal untuk lapisan aus / *wearing course* (WC), adalah lapisan perkerasan yang berhubungan langsung dengan ban kendaraan, merupakan lapisan yang kedap air atau tahan terhadap cuaca, dan mempunyai kekesatan yang diisyaratkan.
2. Beton aspal untuk lapisan pondasi / *binder course* (BC), adalah lapisan perkerasan yang terletak di bawah lapisan aus tidak berhubungan langsung dengan cuaca, tetapi perlu stabilisasi untuk memikul beban lalu lintas yang dilimpahkan melalui roda kendaraan.

3. Beton aspal untuk pembentuk dan perata lapisan beton aspal yang sudah lama, yang pada umumnya sudah lama, yang pada umumnya sudah aus dan sering kali tidak lagi berbentuk *crown*.

2.2.2 Persyaratan perencanaan campuran aspal beton

Perencanaan campuran mencakup kegiatan pemilihan dan penentuan proporsi material untuk mencapai sifat-sifat akhir dari campuran aspal yang diinginkan. Tujuan dari perencanaan campuran aspal adalah untuk mendapatkan campuran efektif dari gradasi agregat dan aspal yang akan menghasilkan campuran aspal yang memiliki sifat-sifat campuran sebagai berikut :

1. Stabilitas adalah kemampuan campuran aspal untuk menahan deformasi permanen yang disebabkan oleh lalu lintas, baik beban yang bersifat statis maupun dinamis sehingga campuran akan tidak mudah aus, bergelombang , melendut, bergeser dan lain-lain.
2. Fleksibilitas adalah kemampuan campuran aspal untuk menahan terhadap defleksi akibat beban lalu lintas tanpa mengalami keretakan yang disebabkan oleh :
 - a. Beban yang berlangsung lama yang berakibat terjadinya kelelahan pada lapis pondasi atau pada tanah dasar yang disebabkan oleh pembebanan sebelumnya.
 - b. Lendutan berulang yang disebabkan oleh waktu pembebanan lalu lintas yang berlangsung singkat.
 - c. Adanya perubahan volume campuran.
3. Durabilitas adalah kemampuan campuran aspal untuk mempertahankan kualitasnya dari disintegrasi atas unsur-unsur pembentuknya yang diakibatkan oleh beban lalu lintas dan pengaruh cuaca. Campuran aspal harus mampu bertahan terhadap perubahan yang disebabkan oleh:
 - a. Proses penuaan pada aspal dimana aspal akan menjadi lebih keras. Hal ini disebabkan oleh pengaruh oksidasi dari udara dan proses penguapan yang berakibat akan menurunkan daya lekat dan kekenyalan aspal.

- b. Pengaruh air yang menyebabkan kerusakan atau kehilangan kuat lekat antara aspal dan material lainnya.
4. *Impermeability* adalah campuran aspal harus bersifat kedap air untuk melindungi lapisan perkerasan di bawahnya dari keretakan yang disebabkan oleh air yang akan mengakibatkan campuran menjadi kehilangan kekuatan dan kemampuan untuk menahan beban lalu lintas.
5. *Skid Resistance* adalah kekesatan lapisan permukaan yang akan berkaitan dengan kemampuan permukaan lapis perkerasan tersebut untuk melayani arus lalu lintas kendaraan yang lewat di atasnya tanpa terjadi *skidding slipping* pada saat kondisi permukaan basah.
6. Pemadatan adalah proses pemampatan yang memberikan volume terkecil, menggelincir rongga sehingga batas yang disyaratkan dan menambah kepadatan optimal. Mengingat efek yang timbul oleh pengaruh udara, air serta pembebanan oleh arras lalu lintas apabila rongga dalam campuran tidak memenuhi syarat yang ditentukan. Hal ini harus dihindari supaya tidak terjadi penyimpangan.
7. Temperatur pemadatan merupakan faktor penting yang mempengaruhi pemadatan, kepadatan hanya bisa terjadi pada saat aspal dalam keadaan cukup cair sehingga aspal tersebut dapat berfungsi sebagai pelumas. Jika aspal sudah dalam keadaan cukup dingin maka kepadatan akan sulit dicapai.
8. *Workability* adalah campuran agregat aspal harus mudah dikerjakan saat pencampuran, pengharnparan dan pemadatan, untuk mencapai satuan berat jenis yang diinginkan tanpa mengalami suatu kesulitan sampai mencapai tingkat pemadatan yang diinginkan dengan peralatan yang memungkinkan

2.2.3 Campuran beraspal panas

Merupakan campuran yang terdiri dari kombinasi agregat yang dicampur dengan aspal. Pencampuran dilakukan sedemikian rupa sehingga permukaan agregat terselimuti aspal dengan seragam. Untuk mengeringkan agregat dan memperoleh kekentalan aspal yang mencukupi dalam mencampur dan

mengerjakannya, maka kedua-duanya dipanaskan pada temperatur tertentu. Umumnya suhu pencampuran dilakukan pada suhu 145°C – 155°C.

Saat ini di Indonesia terdapat berbagai macam bentuk aspal campuran panas yang digunakan untuk lapisan perkerasan jalan. Perbedaannya terletak pada jenis gradasi agregat dan kadar aspal yang digunakan. Pemilihan jenis beton aspal yang akan digunakan di suatu lokasi sangat ditentukan oleh jenis karakteristik beton aspal yang lebih diutamakan. Sebagai contoh, jika perkerasan direncanakan akan digunakan untuk melayani lalu lintas berat, maka sifat stabilitas lebih diutamakan. Ini berarti jenis beton aspal yang paling sesuai adalah beton aspal yang memiliki agregat campuran bergradasi baik. Pemilihan jenis beton aspal ini mempunyai konsekuensi pori dalam campuran menjadi lebih sedikit, kadar aspal yang dapat dicampurkan juga berkurang, sehingga selimut aspal menjadi lebih tipis (Silvia Sukirman, 2003).

2.2.4 Lapis Aspal Beton (Laston)

Laston adalah lapis campuran terdiri atas lapis aus (AC-WC), lapis permukaan antara (AC-BC), lapis fondasi (AC-Base) dan ukuran masing-masing campuran adalah (AC-WC) 19 mm, (AC-BC) 25,4 mm, dan (AC-Base) 37,5 mm (Spesifikasi Umum Divisi VI, Bina Marga, 2010).

Menurut spesifikasi umum divisi VI, bina marga, 2010. Berikut toleransi tebal untuk lapisan campuran laston :

1. Lapis aus atau AC-WC tidak kurang dari 3,0 mm.
2. Lapis antara atau AC-BC tidak kurang dari 4,0 mm.
3. Lapis pondasi atau AC-Base tidak kurang dari 5,0 mm.

Berdasarkan spesifikasi umum divisi VI, bina marga, 2010. Tebal nominal minimum campuran beraspal laston sebagai berikut :

1. Lapis aus AC-WC adalah 4,0 cm.
2. Lapis antara AC-BC adalah 6,0 cm.
3. Lapis pondasi AC-Base adalah 7.5 cm.

Tabel 2.1 Tebal Nominal Minimum Campuran Beraspal

Jenis campuran		Simbol	Tebal nominal minimum (cm)
Latasir kelas A		SS-A	1,5
Latasir Kelas B		SS-B	2,0
Lataston	Lapis aus	HRS-WC	3,0
	Lapis pondasi	HRS-Base	3,5
Laston	Lapis aus	AC-WC	4,0
	Lapis Antara	AC-BC	6,0
	Lapis pondasi	AC-Base	7,5

(Sumber : Spesifikasi Umum Divisi VI, Bina Marga, 2010)

Sedangkan sifat – sifat dari laston antara lain :

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

Tabel 2.2 Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Laston

Sifat-sifat campuran		Laston					
		Lapis Aus		Lapis Antara		Pondasi	
		Halus	Kasar	Halus	Kasar	Halus	Kasar
Kadar aspal efektif (%)		5,1	4,3	4,3	4	4	3,5
Penyerapan aspal (%)	Maks	1,2					
Jumlah tumbukan per bidang		75				112 ⁽¹⁾	
Rongga dalam campuran (%) ⁽²⁾	Min	3,5					
	Maks	5					
Rongga dalam agregat (VMA) (%)	Min	15		14		13	
Rongga terisi aspal (%)	Min	65		63		60	
Stabilitas Marshall (kg)	Min	800				1800 ⁽¹⁾	
	Maks	-				-	
Pelehan (mm)	Min	3				4,5 ⁽¹⁾	
Marshall Quotient (kg/mm)	Min	250				300	

(Sumber : Spesifikasi Umum Divisi VI, Bina Marga, 2010)

2.3 Spesifikasi Bahan Perkerasan Laston

2.3.1 Agregat

Agregat adalah segala bahan pengisi atau yang dicampurkan dalam proses pembuatan aspal yang berasal dari batu yang mempunyai peranan penting terhadap kualitas aspal maupun harganya. Kadar agregat dalam campuran bahan perkerasan konstruksi jalan pada umumnya berkisar 90 – 95% dari berat total (Silvia Sukirman, 2003).

Bina marga telah mengeluarkan spesifikasi agregat kasar yang dapat digunakan sebagai bahan perkerasan, hal ini merupakan adaptasi dari standar yang dikeluarkan AAHSTO dan BSI. Kriteria utama sebagai syarat agregat kasar adalah :

1. Daya tahan terhadap abrasi maksimal sebesar 40%
2. Sifat kelekatan terhadap aspal minimal 95%
3. Selain itu Bina Marga telah menetapkan nilai indeks kepipihan $< 25\%$

Dalam menentukan agregat mana yang akan dipilih, maka kita harus mengetahui jenis-jenis agregat tersebut, yaitu :

1. Agregat berdasarkan proses terjadinya

Berdasarkan proses terjadinya agregat dapat dibedakan atas agregat beku (*igneous rock*), agregat sedimen (*sedimentary rock*) dan agregat metamorfik (*metamorphic rock*).

- a. Agregat beku (*igneous rock*) adalah agregat yang berasal dari magma yang mendingin dan membeku. Agregat beku luar dibentuk dari magma yang keluar ke permukaan bumi disaat gunung berapi meletus, dan akibat pengaruh cuaca mengalami pendinginan dan membeku. Umumnya agregat beku luar berbutir halus. Agregat beku dalam dibentuk dari magma yang tidak dapat keluar dari permukaan bumi, mengalami pendinginan dan membeku secara perlahan-lahan didalam bumi, dapat ditemui di permukaan bumi karena proses erosi dan atau gerakan bumi. Agregat beku dalam umumnya bertekstur kasar.

- b. Agregat sedimen (*sedimentary rock*) dapat berasal dari campuran partikel mineral, sisa-sisa hewan dan tanaman yang mengalami pengendapan dan pembekuan. Pada umumnya merupakan lapisan-lapisan pada kulit bumi, hasil endapan di danau, laut, dan sebagainya.
- c. Agregat metamorfik (*metamorphic rock*) adalah agregat sedimen ataupun agregat beku yang mengalami proses perubahan bentuk akibat adanya perubahan tekanan dan temperatur kulit bumi (Silvia Sukirman,2003).

2. Jenis Agregat Berdasarkan Pengolahannya

Berdasarkan pengolahannya agregat dapat dibedakan atas agregat siap pakai, dan agregat yang perlu diolah terlebih dahulu sebelum dipakai.

- a. Agregat siap pakai adalah agregat yang dapat digunakan sebagai material perkerasan jalan dengan bentuk dan ukuran sebagaimana diperoleh di lokasi asalnya, atau dengan sedikit proses pengolahan. Agregat ini terbentuk melalui proses erosi atau degradasi. Agregat siap pakai sering disebut sebagai agregat alam. Dua bentuk dan ukuran agregat alam yang sering dipergunakan sebagai material perkerasan jalan, yaitu kerikil dan pasir.
- b. Agregat yang perlu diolah terlebih dahulu sebelum dipakai, adalah agregat yang diperoleh di bukit-bukit, di gunung-gunung ataupun di sungai-sungai. Agregat di gunung dan di bukit pada umumnya ditemui dalam bentuk masif, sehingga perlu dilakukan pemecahan dahulu supaya dapat diangkat ke mesin pemecah batu (*stone crusher*). Guna dapat digunakan sebagai material perkerasan jalan, agregat ini harus dioalah dahulu secara manual, dengan mempergunakan tenaga manusia, atau melalui proses mekanis di mesin pemecah batu. (Silvia Sukirman,2003).

3. Berdasarkan ukuran butiran

Pembagian agregat berdasarkan ukuran buriran yaitu :

a. Agregat kasar

Fraksi agregat kasar untuk agregat ini adalah agregat yang tertahan di atas saringan 2,36 mm (No.8) atau lebih besar dari saringan No. 4 (4,75 mm) yang dilakukan secara basah dan harus bersih, keras, awet dan

bebas dari lempung atau bahan lainnya. Agregat kasar harus mempunyai ketahanan terhadap abrasi bila digunakan sebagai campuran WC (*wearing course*), untuk itu nilai *Los Angeles Abrasion Test* harus dipenuhi. Menurut Spesifikasi Umum Divisi 6, agregat kasar dalam campuran harus memenuhi ketentuan yang diberikan dalam tabel 2.3.

Tabel 2.3 Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian		Standar	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan natrium dan magnesium sulfat		SNI 3470:2008	Maks. 12%
Abrasi dengan mesin <i>Los Angles</i>	Campuran AC bergradasi	SNI 2417:2008	Maks. 30%
	Semua Campuran aspal bergradasi lainnya		Maks. 40%
Kelekatan Agregat terhadap aspal		SNI	Maks. 90%
<i>Angularitas</i> (kedalaman dari permukaan <10 cm)		<i>DotT's Pennsylvania Test Method</i> , PTM No.621	95/90*
<i>Angularitas</i> (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 Umum Divisi VI, Bina Marga, 2010.)

b. Agregat halus

Menurut spesifikasi umum divisi 6, agregat halus adalah agregat hasil pemecah batu yang mempunyai sifat lolos saringan No. 8 (2,36 mm) atau agregat dengan ukuran butir lebih halus dari saringan No. 4 (4,75 mm). Agregat halus yang digunakan dalam campuran AC dapat menggunakan pasir alam yang tidak melampaui 15% terhadap berat total campuran. Fungsi utama agregat halus adalah untuk menyediakan stabilitas dan mengurangi deformasi permanen dari perkerasan melalui keadaan saling mengunci (*interlocking*) dan gesekan antar butiran. Batu pecah halus harus diperoleh dari batu yang memenuhi ketentuan mutu dalam tabel 2.4.

Tabel 2.4 Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Standar	Nilai
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-1997	Min 50% untuk SS, HRS dan AC bergradasi Halus Min 70% untuk AC bergradasi Kasar
Material Lolos Ayakan No.200	SNI 03-4428-1997	Maks. 8%
Kadar Lempung	SNI 3423 : 2008	Maks. 1%
Angularitas (kedalaman dari permukaan <10 cm)	AASHTO TP-33 atau ASTM C1252-93	Min. 45
Angularitas (kedalaman dari permukaan \geq 10 cm)		Min. 40

(Sumber: Spesifikasi Umum Divisi VI, Bina Marga, 2010.)

c. Bahan pengisi *filler*

Menurut spesifikasi umum divisi 6, bina marga, 2010. Bahan pengisi yang ditambahkan harus kering dan bebas dari gumpalan-gumpalan dan bila diuji dengan pengayakan sesuai dengan SNI 03-1968-1990 harus mengandung bahan yang lolos ayakan nomor 200 (75 micron) tidak kurang dari 75% terhadap beratnya. semua campuran beraspal harus mengandung bahan pengisi yang ditambahkan tidak kurang dari 1% dan maksimum 2% dari agregat.

4. Berdasarkan bentuk dan tekstur agregat

Bentuk dan tekstur mempengaruhi stabilitas dari lapisan perkerasan yang dibentuk oleh agregat tersebut. Partikel agregat dapat berbentuk :

a. Bulat (*rounded*)

Agregat yang ditemui di sungai umumnya telah mengalami pengikisan oleh air sehingga berbentuk bulat. Partikel agregat bulat saling bersentuhan dengan luas bidang kontak kecil sehingga menghasilkan daya *interlocking* yang lebih kecil dan lebih mudah tegelincir.

b. Lonjong (*elongated*)

Partikel agregat berbentuk lonjong dapat ditemui di sungai-sungai atau bekas endapan sungai. Agregat dikatakan lonjong jika ukuran terpanjangnya $>$ 1,8 kali diameter rata-rata. Indeks kelonjongan

(*elongated index*) adalah perbandingan dalam persen dari berat agregat lonjong terhadap berat total. Sifat *interlocking*nya hampir sama dengan yang berbentuk bulat.

c. Kubus (*cubical*)

Agregat berbentuk kubus pada umumnya merupakan agregat hasil pemecahan batu masif, atau hasil pemecahan mesin pemecah batu (*crusherstone*) yang mempunyai bidang kontak yang luas, berbentuk bidang rata sehingga memberikan *interlocking*/saling mengunci yang lebih besar. Dengan demikian kestabilan yang diperoleh lebih besar dan lebih tahan terhadap deformasi yang timbul. Agregat ini merupakan agregat yang terbaik untuk dipergunakan sebagai material perkerasan jalan.

d. Pipih (*flaky*)

Partikel agregat berbentuk pipih dapat merupakan hasil dari produksi dari mesin pemecah batu ataupun memang merupakan sifat dari agregat tersebut jika dipecahkan cenderung berbentuk pipih. Agregat pipih yaitu agregat yang ketebalannya lebih tipis dari 0,6 kali diameter rata-rata. Indeks kepipihan (*flakiness index*) adalah berat total agregat yang lolos slot dibagi berat total agregat yang tertahan slot pada ukuran nominal tertentu. Agregat berbentuk pipih mudah pecah pada waktu pencampuran, pemadatan, atau pun akibat beban lalu lintas, oleh karena itu banyaknya agregat pipih dibatasi dengan menggunakan nilai indeks kepipihan yang disyaratkan.

e. Tak beraturan (*irregular*)

Agregat berbentuk tak beraturan (*irregular*) adalah bentuk agregat yang tak mengikuti salah satu bentuk di atas. Gesekan yang timbul antar partikel menentukan juga stabilitas dan daya dukung dari lapisan perkerasan. Besar nya gesekan dipengaruhi oleh jenis permukaan agregat yang dapat dibedakan atas agregat yang permukaannya kasar (*rough*), agregat yang permukaannya halus (*smooth*), agregat yang permukaannya licin dan mengkilap (*glassy*), agregat permukaannya berpori (*porous*).

2.3.2 Pemeriksaan agregat

Agregat merupakan hasil produksi dari bahan-bahan alam, sehingga sifat-sifat agregat harus selalu diperiksa di laboratorium dan agregat yang memenuhi syarat-syarat yang telah ditetapkan.

Pemeriksaan agregat ini terdiri dari analisa saringan, berat jenis, penyerapan air, abrasi *los angeles*, berat jenis curah unuk *filler*.

1. Analisa saringan

Pemeriksaan atau pengujian ini bertujuan untuk membuat suatu distribusi ukuran agregat dalam bentuk grafik yang dapat memperlihatkan pembagian butir (gradasi) suatu agregat dengan menggunakan saringan.

Gradasi adalah susunan butir agregat sesuai ukurannya. Ukuran butir agregat dapat diperoleh melalui analisis saringan. Satu set saringan umumnya terdiri dari saringan berukuran 4 inci, 3½ inci, 3 inci, 2½ inci, 1½ inci, 1 inci, ¾ inci, ½ inci, ⅜ inci, No.4, No.8, No.16, No.30, No.50, No.100, dan No.200. Ukuran saringan dalam ukuran panjang menunjukkan ukuran bukaan, sedangkan nomor saringan menunjukkan banyaknya bukaan dalam 1 inci panjang. Prosedur pengujian ini didasarkan pada SK SNI M-08-1989-F atau AASHTO T 27-88 atau ASTM C 136-84a.

Tabel 2.5 Ukuran Bukaan Saringan

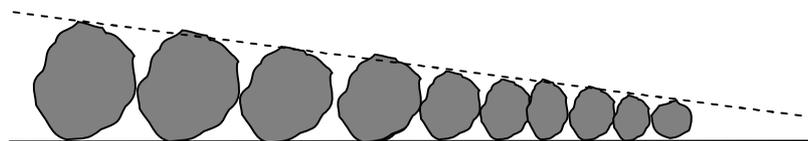
No.	Ukuran Saringan (inchi)	Bukaan (mm)
1.	1	25
2.	¾	19
3.	1□ ₅	12,5
4.	3/8 inchi	9,5
5.	No. 4	4,75
6.	No. 8	2,36
7.	No. 16	1,18
8.	No. 30	0,6
10.	No. 50	0,3
11.	No. 100	0,15
12.	No. 200	0,075

(Sumber: Buku Besar Laboratorim Rekayasa Jalan Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Bandung)

Gradasi agregat dapat dikelompokkan menjadi :

a. Agregat bergradasi baik

Agregat bergradasi baik adalah agregat yang ukuran butirnya terdistribusi merata dalam satu rentang ukuran butir. Campuran agregat bergradasi baik mempunyai pori sedikit, mudah dipadatkan, dan mempunyai stabilitas tinggi. Tingkat stabilitas ditentukan dari ukuran butir agregat terbesar yang ada. Agregat bergradasi baik ini digunakan untuk LASTON (lapis aspal aston).



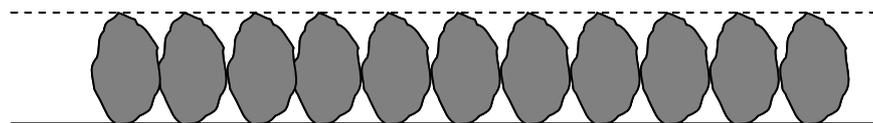
Gambar 2.1 Gradasi Baik
(www.images.google.com)

b. Agregat bergradasi buruk

Agregat bergradasi buruk tidak memenuhi persyaratan gradasi baik. Terdapat berbagai macam gradasi agregat yang dapat dikelompokkan ke dalam agregat bergradasi buruk, seperti :

- Gradasi seragam (*uniform grade*)

Adalah agregat yang hanya terdiri dari butir-butir agregat berukuran sama atau hampir sama. Campuran agregat ini mempunyai pori antar butir yang cukup besar, sehingga sering dinamakan juga agregat bergradasi terbuka. Rentang distribusi ukuran butir yang ada pada agregat bergradasi seragam tersebar pada rentang yang sempit.



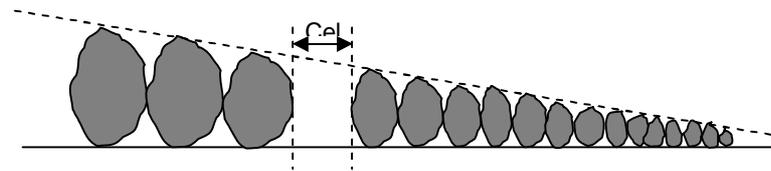
Gambar 2.2 Gradasi Seragam
(www.images.google.com)

- Agregat bergradasi terbuka

Agregat bergradasi terbuka adalah agregat yang distribusi ukuran butirnya sedemikian rupa sehingga pori-porinya tidak terisi dengan baik.

- Agregat gradasi senjang (*gap graded*)

Merupakan campuran yang tidak memenuhi 2 kategori di atas. Agregat bergradasi buruk yang umum digunakan untuk lapisan perkerasan lentur merupakan campuran dengan 1 fraksi hilang atau 1 fraksi sedikit. Gradasi seperti ini disebut juga gradasi senjang. Gradasi senjang akan menghasilkan lapis perkerasan yang mutunya terletak antara kedua jenis di atas.



Gambar 2.3 Gradasi Senjang
(www.images.google.com)

Titik-titik kontrol berfungsi sebagai batas rentang dimana suatu target gradasi harus lewat titik-titik tersebut diletakkan di ukuran maksimum nominal dan dipetengahan saringan (2,36 mm) dan ukuran saringan terkecil (0,075 mm).

Tabel 2.6 Gradasi Agregat Gabungan untuk Campuran Aspal

% Berat Yang Lolos terhadap Total Agregat dalam Campuran												
Ukuran Ayakan (mm)	Latasir (SS)			Lataston (HRS)			Laston (AC)					
				Gradasi Senjang	Gradasi Semi Senjang		Gradasi Halus			Gradasi Kasar		
	Kelas A	Kelas B	WC	Base	WC	Base	WC	BC	Base	WC	BC	Base
37,5									100			100
25								100	90-100		100	90-100
19	100	100	100	100	100	100	100	90-100	73-90	100	90-100	73-90
12,5			90-100	90-100	87-100	90-100	90-100	74-90	61-79	90-100	71-90	55-76
9,5	90-100		75-85	65-90	55-88	55-70	72-90	64-82	47-67	72-90	58-80	45-66
4,75							54-69	47-64	39,5-50	43-63	37-56	28-55
2,36		75-100	50-72	35-55	50-62	32-44	39,1-53	34,6-49	20,8-37	28-39,1	23-34,6	19-35,8
1,18							31,6-40	28,3-38	24,1-28	19-25,6	15-22,3	12-18,1
0,6			35-60	15-35	20-45	20-45	23,1-30	20,7-28	17,6-22	13-19,1	10-16,7	7-13,6
0,3					15-35	15-35	15,5-22	13,7-28	11,4-16	9-15,5	7-13,7	5-11,4
0,15							9-15	4-13	4-10	6-13	5-11	2,5-9
0,075	10-15	8-13	6-10	2-9	6-10	4-8	4-10	4-8	3-6	4-10	4-8	3-7

(Sumber: Spesifikasi Umum Divisi VI, Bina Marga 2010)

2. Berat jenis dan penyerapan agregat

Pengukuran berat jenis agregat diperlukan untuk perencanaan campuran agregat dengan aspal, campuran ini berdasarkan perbandingan berat karena lebih teliti dibanding dengan perbandingan volume dan juga untuk menentukan banyak pori agregat. Berat jenis yang kecil akan mempunyai volume yang besar sehingga dengan berat yang sama akan membutuhkan aspal yang banyak. (Buku Besar Laboratorim Rekayasa Jalan Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Bandung, 2001). Berat jenis dari 4 macam yaitu :

a. Berat jenis curah (*bulk specific gravity*)

Adalah berat jenis yang diperhitungkan terhadap seluruh volume pori yang ada (volume pori yang dapat diresapi oleh aspal, volume pori yang tidak dapat diresapi oleh aspal, atau dapat dikatakan seluruh volume pori yang dapat dilewati air dan volume partikel).

b. Berat jenis permukaan jenuh (*SSD specific gravity*)

Adalah berat jenis yang memperhitungkan volume pori yang hanya dapat diresapi oleh aspal ditambah dengan volume partikel.

c. Berat jenis semu (*apparent specific gravity*)

Adalah berat jenis yang memperhitungkan volume partikel saja tanpa memperhitungkan volume pori yang dapat dilewati air.

d. Berat jenis efektif

Merupakan nilai tengah berat jenis curah dan semu, terbentuk dari campuran partikel kecuali pori-pori udara yang dapat menyerap aspal, yang selanjutnya akan terus diperhitungkan dalam perencanaan campuran agregat dengan aspal.

Nilai penyerapan adalah perbandingan perubahan berat agregat karena penyerapan air oleh pori-pori dengan berat agregat pada kondisi kering. Prosedur untuk pengujian berat jenis agregat kasar berdasarkan SK SNI M-098-1989-F atau ASTM C 127-84. Berikut metode perhitungan berat jenis dan nilai penyerapan agregat kasar:

$$\text{Berat jenis bulk} = \frac{Bk}{Bj - Ba} \dots\dots\dots 2.1$$

$$\text{Berat jenis SSD} = \frac{Bj}{Bj - Ba} \dots\dots\dots 2.2$$

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{Bk}{Bk - Ba} \dots\dots\dots 2.3$$

$$\text{Penyerapan} = \frac{Bj - Bk}{Bk} \times 100 \% \dots\dots\dots 2.4$$

Keterangan :

Bk= Berat sampel kering oven (gram)

Bj = Berat sampel kering – permukaan jernih (gram)

Ba= berat uji kering – permukaan jenuh di dalam air (gram)

Prosedur untuk pengujian berat jenis agregat halus berdasarkan SK SNI M-09-1998-F atau ASTM C 128 84. Berikut perhitungan berat jenis dan penyerapan agregat halus :

$$\text{Berat jenis bulk} = \frac{Bk}{(B + 500 - Bt)} \dots\dots\dots 2.5$$

$$\text{Berat jenis SSD} = \frac{500}{(B + 500 - Bt)} \dots\dots\dots 2.6$$

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{Bk}{(B + Bk - Bt)} \dots\dots\dots 2.7$$

$$\text{Penyerapan} = \frac{(500 - Bk)}{Bk} \times 100 \% \dots\dots\dots 2.8$$

Keterangan :

Bk = Berat sampel kering oven (gram)

B = Berat piknometer berisi air (gram)

- Bt = Berat piknometer berisi benda uji dan air (gram)
 500 = Berat benda uji dalam keadaan SSD (gram)

3. Abrasi *los angeles*

Prinsip pengujian *los angeles* adalah pengukuran perontokan agregat dari gradasi standar akibat kombinasi abrasi, tekanan, dan penggilasan di dalam drum baja. Ketika drum berputar, bilah baja yang terdapat di dalamnya mengangkat sampel dan bola baja, membawanya berputar-putar sampai kembali jatuh, mengakibatkan efek tumbuk-tekan atau *impact-crushing* pada sampel. Sampel sendiri kemudian berguling dengan mengalami aksi abrasi dan penggilasan sampai bilah baja kembali menekan dan membawanya berputar. Demikianlah siklus yang terjadi di dalam mesin *los angeles*. (Buku Besar Laboratorim Rekayasa Jalan Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Bandung, 2001). Prosedur pengujian ini berdasarkan ASTM C 131 76 atau AASHTO T 96 - 87. Berikut perhitungan abrasi *los angeles* :

$$\text{Nilai keausan los angeles} = \frac{A - B}{A} \times 100\% \dots \dots \dots 2.9$$

Keterangan :

A = Berat sampel semula (gram)

B = Berat sampel yang tertahan / lebih besar dari 1,7 (gram)

2.3.3 Aspal

Aspal didefinisikan sebagai suatu cairan yang lekat atau berbentuk padat terdiri dari *hydrocarbon* atau turunannya, terlarut dalam *trichloro-ethylene* dan bersifat tidak mudah menguap serta lunak secara bertahap jika dipanaskan. Aspal berwarna coklat tua sampai hitam dan bersifat melekatkan, padat atau semi padat, dimana sifat aspal yang menonjol tersebut didapat dialam atau dengan penyulingan minyak.

Aspal terbuat dari minyak mentah melalui proses penyulingan atau dapat ditemukan dalam kandungan alam sebagai bagian dari komponen alam yang

ditemukan bersama-sama material lainnya seperti pada cekungan bumi yang mengandung aspal.

AASHTO menyatakan bahwa jenis aspal keras ditandai dengan angka penetrasi aspal. Angka ini menyatakan tingkat kekerasan aspal atau tingkat konsistensi aspal. Semakin besar angka penetrasi aspal maka tingkat kekerasan aspal semakin rendah, sebaliknya semakin kecil angka penetrasi aspal maka tingkat kekerasan aspal makin tinggi.

Terdapat bermacam-macam tingkat penetrasi aspal yang dapat digunakan dalam campuran agregat aspal antara lain 40/50, 60/70, 80/100. Umumnya aspal yang digunakan di Indonesia adalah penetrasi 80/100 dan penetrasi 60/70.

Tabel 2.7 Persyaratan Aspal Keras Pen 60/70

No.	Sifat-sifat	Pen 60/70		Satuan
		Min.	Maks.	
1.	Penetrasi (25° C, 100 gr, 5 detik)	60	79	0,1 mm
2.	Titik lembek (ring and ball test)	48	58	° C
3.	Titik nyala (Cleveland open cup)	200	-	° C
4.	Kehilangan berat (163° C, 5 jam)	-	0,8	% berat
5.	Kelarutan (C ₂ HCL ₃)	99	-	% berat
6.	Daktilitas (25° C, 5 cm/menit)	100	-	Cm
7.	Pen setelah kehilangan berat	54	-	% asli
8.	Daktilitas setelah kehilangan berat	50	-	Cm
9.	Berat jenis (25° C)	1	-	Gr/cm ³

(Sumber : Departemen Pekerjaan Umum, 1989 (SNI No. 1737-1989-F))

Aspal pada lapis perkerasan jalan berfungsi sebagai bahan ikat antar agregat untuk membentuk suatu campuran yang kompak, sehingga akan memberikan kekuatan yang lebih besar dan kekuatan agregat. Aspal yang digunakan pada penelitian ini merupakan hasil penyulingan minyak mentah produksi Pertamina.

Aspal merupakan material yang bersifat visco-elastis dan memiliki ciri yang beragam mulai dari yang bersifat lekat sampai yang bersifat elastis. Diantara

sifat aspal lainnya adalah:

1. Aspal mempunyai sifat *Rheologic* (mekanis), yaitu hubungan antara tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*) dipengaruhi oleh waktu. Apabila mengalami pembebanan dengan jangka waktu pembebanan yang sangat cepat, maka aspal akan bersifat elastis, tetapi jika pembebanannya terjadi dalam jangka waktu yang lambat, sifat aspal menjadi plastis (*viscous*).
2. Aspal adalah bahan yang Thermoplastis, yaitu konsistensinya atau viskositasnya akan berubah sesuai dengan perubahan temperatur yang terjadi. Semakin tinggi temperatur aspal, maka viskositasnya akan semakin rendah atau semakin encer, demikian pula sebaliknya. Dan segi pelaksanaan lapis perkerasan, aspal dengan viskositas yang rendah akan menguntungkan karena aspal akan menyelimuti batuan dengan lebih baik dan merata. Namun pemanasan yang berlebihan terhadap aspal akan merusak molekul-molekul dari aspal, misalnya aspal menjadi getas dan rapuh.
3. Aspal mempunyai sifat *Thixotropy*, yaitu jika dibiarkan tanpa mengalami tegangan regangan akan berakibat aspal menjadi mengeras sesuai dengan jalannya waktu.

2.3.4 Jenis aspal

Berdasarkan tempat diperolehnya, aspal dibedakan atas aspal alam dan aspal minyak. Aspal alam yaitu aspal yang didapat disuatu tempat di alam, dan dapat digunakan sebagaimana diperolehnya atau dengan sedikit pengolahan. Aspal minyak adalah aspal yang merupakan residu pengilangan minyak bumi.

1. Aspal alam

Aspal alam ada yang diperoleh di gunung-gunung seperti aspal di Pulau Buton, dan ada pula yang diperoleh di danau seperti di Trinidad. Aspal alam yang terbesar di dunia terdapat di Trinidad, berupa aspal danau (*Trinidad Lake Asphalt*). Indonesia memiliki aspal alam yaitu di Pulau Buton, yang berupa aspal gunung, terkenal dengan nama Asbuton (Aspal Batu Buton). Asbuton merupakan batu yang mengandung aspal.

2. Aspal minyak

Aspal minyak adalah aspal buatan yang merupakan residu destilasi minyak bumi. Setiap minyak bumi dapat menghasilkan residu jenis *asphaltic base crude oil* yang banyak mengandung aspal, *paraffin base crude oil* yang banyak mengandung *paraffin*, atau *mixed base crude oil* yang mengandung campuran antara *paraffin* dan aspal. Untuk perkerasan jalan umumnya digunakan aspal minyak jenis *asphaltic base crude oil*. Bensin (*gasoline*), minyak tanah (*kerosene*) dan solar (minyak diesel) merupakan hasil destilasi pada temperatur yang berbeda-beda, sedangkan aspal merupakan residunya. Residu aspal berbentuk padat, tetapi melalui pengolahan hasil residu ini dapat pula berbentuk cair atau emulsi pada temperatur ruang, maka aspal dibedakan atas aspal keras, aspal cair dan aspal emulsi (Silvia Sukirman, 2003).

2.3.5 Sifat kimiawi aspal

Metode Rostler menentukan komponen fraksional aspal melalui daya larut aspal di dalam aspal belerang (*sulfuric acid*). Terdapat 5 komponen fraksional aspal berdasarkan daya reaksi kimiawinya di dalam aspal *sulfuric acid*, yaitu :

1. *Aphaltenes* (A)
2. *Nitrogen based* (N)
3. *Acidaffin I* (A₁)
4. *Acidaffin II* (A₂)
5. *Paraffins* (P)

2.3.6 Fungsi aspal

Aspal yang dipergunakan pada konstruksi perkerasan pada konstruksi perkerasan jalan berfungsi sebagai :

1. Bahan pengikat, memberikan ikatan yang kuat antara aspal dan agregat dan antara aspal itu sendiri.
2. Bahan pengisi, mengisi rongga antara butir-butir agregat dan pori-pori yang ada dari agregat itu sendiri.

Berarti aspal haruslah mempunyai daya tahan (tidak cepat rapuh) terhadap cuaca, mempunyai adhesi dan kohesi yang baik dan memberikan sifat elastis yang baik.

1. Daya tahan (*durability*)

Daya tahan aspal adalah kemampuan aspal mempertahankan sifat asalnya akibat pengaruh cuaca selama masa pelayanan jalan. Sifat ini merupakan sifat dari campuran aspal, jadi tergantung dari sifat agregat, campuran dengan aspal, faktor pelaksanaan dan lain sebagainya. Meskipun demikian sifat ini dapat diperkirakan dari pemeriksaan *Thin Film Oven Test* (TFOT).

2. Adhesi dan Kohesi

Adhesi adalah kemampuan aspal untuk mengikat agregat sehingga dihasilkan ikatan yang baik antara agregat dengan aspal. Kohesi adalah kemampuan aspal untuk tetap di tempatnya setelah terjadi pengikatan.

3. Kepekaan terhadap temperature

Aspal adalah material yang termoplastis, berarti akan menjadi keras atau lebih kental jika tempatur berkurang dan akan lunak atau lebih cair jika temperatur bertambah. Sifat ini dinamakan kepekaan terhadap perubahan temperatur.

Kepekaan terhadap temperatur dari setiap hasil produksi aspal berbeda-beda tergantung dari asalnya walaupun aspal tersebut mempunyai jenis yang sama.

4. Kekerasan aspal

Aspal pada proses pencampuran dipanaskan dan dicampur dengan agregat sehingga agregat dilapisi aspal atau aspal panas disiramkan ke permukaan agregat yang telah disiapkan pada proses pelaburan. Pada waktu proses pelaksanaan, terjadi oksidasi yang menyebabkan aspal menjadi getas (viskositas bertambah tinggi). Peristiwa perapuhan terus mengalami oksidasi dan polimerisasi yang besarnya dipengaruhi juga oleh ketebalan aspal yang menyelimuti agregat. Semakin tipis lapisan aspal, semakin besar tingkat kerapuhan yang terjadi (Silvia Sukirman, 2003).

2.3.7 Pengujian sifat karakteristik aspal

Aspal merupakan hasil produksi dari bahan-bahan alam, sehingga sifat-sifat aspal harus selalu diperiksa di laboratorium dan aspal yang memenuhi syarat-syarat yang telah ditetapkan dapat dipergunakan sebagai bahan pengikat perkerasan lentur.

Pemeriksaan yang dilakukan untuk aspal keras adalah sebagai berikut :

1. Penetrasi bahan bitumen (aspal)

Pemeriksaan ini bertujuan untuk memeriksa tingkat kekerasan aspal. Prosedur pengujian berdasarkan AASHTO T 49-1989 atau ASTM D 5-86. Dari sudut pandang rekayasa (*engineering*), ragam dari komposisi unsur penyusunan bahan bitumen biasanya tidak ditinjau lebih lanjut, untuk menggambarkan karakteristik ragam respon material bahan bitumen tersebut diperkenalkan beberapa parameter, yang salah satunya adalah nilai penetrasi (PEN). Nilai ini menggambarkan kekerasan bahan bitumen pada suhu standar 25°C, yang diambil dari pengukuran kedalaman penetrasi jarum standar, dengan beban standar 50 gram / 100 gram, dalam rentang waktu yang juga standar 5 detik. (Buku Besar Laboratorim Rekayasa Jalan Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Bandung, 2001).

2. Titik lembek aspal

Pemeriksaan ini diciptakan karena pelembekan (*softening*) bahan-bahan aspal dan ter, tidak terjadi sekejap pada suhu tertentu tapi lebih merupakan perubahan gradual seiring penambahan suhu. Dalam percobaan ini titik lembek ditunjukkan dengan suhu pada saat bola baja berdiameter 9,53 mm seberat $\pm 3,5$ gram, mendesak turun suatu lapisan aspal atau ter yang tertahan didalam cincin berukuran tertentu sehingga aspal tersebut menyentuh pelat dasar yang terletak pada tinggi tertentu sebagai akibat kecepatan pemanasan. Titik lembek aspal adalah 30° - 200°C, yang artinya masih ada nilai-nilai titik lembek yang hampir sama dengan suhu permukaan jalan pada umumnya. Untuk itu dilakukan usaha mempertinggi titik lembek ini antara lain dengan

menggunakan *filler* terhadap campuran beraspal. Spesifikasi Bina Marga tentang titik lembek untuk aspal penetrasi 40 (*ring and ball test*) adalah minimum 51°C dan maksimum 63°C, sedangkan untuk penetrasi 60 adalah minimum 48°C dan maksimum 58°C. Untuk prosedur pengujian berdasarkan pada SK SNI M-20-1990-F (Buku Besar Laboratorium Rekayasa Jalan Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Bandung, 2001).

3. Titik nyala dan titik bakar aspal dengan *Cleveland open cup*

Pemeriksaan titik nyala dan titik bakar untuk aspal keras mengikuti prosedur SK SNI M-19-1990-F atau yang sejenisnya adalah AASTHO T 48-89: 1990 atau ASTM D 92-78. Titik nyala ditentukan sebagai suhu terendah dimana percikan api pertama kali terjadi sedangkan titik bakarditentukan sebagai suhu dimana sampel terbakar (Buku Besar Laboratorium Rekayasa Jalan Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Bandung, 2001). Titik nyala dan titik bakar aspal perlu diketahui karena :

- a. Sebagai indikasi temperatur pemanasan maksimum dimana masih dalam batas-batas aman pengerjaan.
- b. Agar karakteristik aspal tidak berubah (rusak) akibat dipanaskan melebihi temperatur titik bakar.

4. Daktilitas aspal

Pemeriksaan ini dilakukan untuk mengetahui salah satu sifat mekanik aspal yaitu kekenyalan yang diwujudkan dalam bentuk kemampuannya untuk ditarik yang memenuhi jarak syarat tertentu (dalam keadaan ini adalah 100 cm) tanpa putus. Apabila bahan bitumen tidak putus setelah melawati jarak 100 cm, maka dianggap bahan ini mempunyai sifat daktilitas tinggi.

Pemeriksaan ini dilakukan dengan cara mengukur jarak terpanjang yang dapat terbentuk dari bahan bitumen pada 2 cetakan kuningan akibat penarikan dengan mesin uji sebelum bahan bitumen tersebut putus. Pemeriksaan ini dilakukan pada suhu 25°C dan dengan kecepatan tarik mesin 5 cm permenit. Prosedur pengujian berdasarkan pada SK SNI M 18-1990-F yang mengadopsi

dari AASHTO T 51-89 dan ASTM D 113-79. (Buku Besar Laboratorim Rekayasa Jalan Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Bandung, 2001).

5. Berat jenis bitumen atau aspal

Berat jenis bitumen adalah perbandingan antara berat bitumen terhadap berat air suling dengan isi yang sama pada suhu tertentu, 25° atau 15,6°C. Prosedur pengujian berdasarkan pada SK SNI M-30-1990-F, (Buku Besar Laboratorim Rekayasa Jalan Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Bandung, 2001).

Berikut perhitungan berat jenis bitumen atau aspal :

$$BJ = \frac{(C - A)}{(B - A) - (D - C)} \times 100\% \dots\dots\dots 2.10$$

Keterangan :

A = Berat piknometer dengan penutup

B = Berat piknometer berisi air

C = Berat piknometer berisi aspal

D = Berat piknometer berisi aspal dan air

BJ = Berat jenis aspal

6. Kehilangan berat akibat pemanasan

Pada pengujian ini, suatu sampel tipis dipanaskan dalam oven selama periode tertentu, dan karakteristik sampel yang telah dipanaskan akan diuji indikasinya apakah adanya proses pengrerasan atau proses pelapukan dari material aspal tersebut. besarnya penurunan berat, selisih nilai penetrasi sebelum dan sesudah pemanasan menunjukkan kepekaan aspal tersebut terhadap cuaca. Aspal setebal 3 mm dipanaskan sampai 163° selama 5 jam di dalam oven yang dilengkapi dengan piring berdiameter 25 cm tergantung melalui poros vertikal dan dapat berputar dengan kecepatan 5-6 putaran/menit. Prosedur pengujian ini adalah SK SNI M-29-1990-F. (Buku Besar Laboratorim Rekayasa Jalan Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Bandung, 2001).

2.4 Metoda Pengujian *Marshall Test*

Konsep dasar dari metoda Marshall dalam campuran aspal dikembangkan oleh *Bruce Marshall*, seorang insinyur bahan aspal bersama-sama dengan *The Mississippi State Highway Department*. Kemudian *The U.S. Army Corp of Engineers*, melanjutkan penelitian dengan intensif dan mempelajari hal-hal yang ada kaitannya, selanjutnya meningkatkan dan menambah kelengkapan pada prosedur pengujian Marshall dan pada akhirnya mengembangkan kriteria rancangan campuran pengujiannya, kemudian distandarisasikan didalam *American Society for Testing and Material 1989 (ASTM d-1559)*.

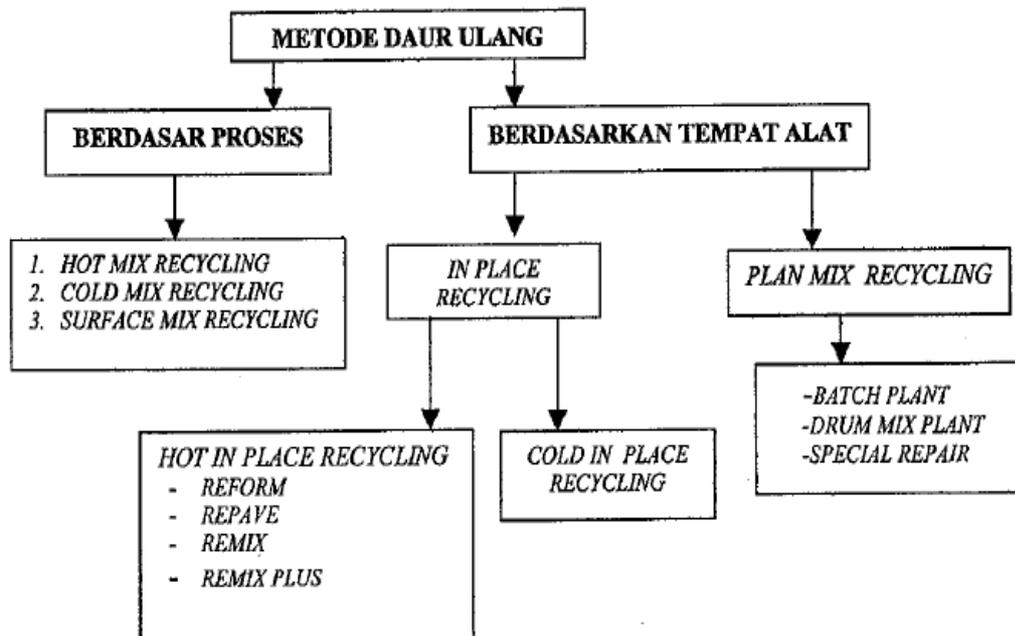
Dua parameter penting yang ditentukan dalam pengujian tersebut, seperti beban maksimum yang dapat dipikul benda uji sebelum hancur atau *Marshall Stability* dan deformasi permanen dari sampel sebelum hancur, yang disebut *Marshall Flow*, serta turunan dari keduanya yang merupakan perbandingan antara *Marshall Stability* dengan *Marshall Flow* yang diebut dengan *Marshall Quotient*, yang merupakan nilai kekakuan berkembang (*speudo stiffness*), yang menunjukkan ketahanan campuran beraspal terhadap deformasi permanen.

Pada sebagian besar agregat, daya ikat terhadap air jauh lebih besar jika dibandingkan terhadap aspal, karena air memiliki *wetting power* yang jauh lebih besar dari aspal. Keberadaan debu yang berlebihan pada agregat juga akan berakibat kegagalan pengikatan ataupun berakibat munculnya potensi kehilangan daya ikat campuran beraspal.

Uji perendaman Marshall (*Marshall Immersion Test*) merupakan uji lanjutan dari uji Marshall sebelumnya, dengan maksud mengukur ketahanan daya ikat/adhesi campuran beraspal terhadap pengaruh air dan suhu (*water sensitivity and temperature susceptibility*). Ada beberapa cam yang digunakan untuk menilai tingkat durabilitas campuran beraspal, salah satunya adalah dengan mencari Indeks Stabilitas Sisa (ISS)/ *Marshall Retained Strenght Index* atau dengan cara lain yaitu dengan menghitung Indeks Penurunan Stabilitas. Perbedaan keduanya adalah dasar perbandingan dari variasi lamanya perendaman dalam alat waterbath. Prosedur pengujian durabilitas mengikuti rujukan SNI M-58-2990.

2.5 Metode Daur Ulang

Secara garis besar metode daur ulang dapat dibedakan menjadi 2 (dua), yaitu berdasarkan proses dan tempat alat yang digunakan. Lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 2.4 di bawah ini.



Gambar 2.4 Skema Metode Daur Ulang
(Sumber: Tesis Herman Sutoyo Universitas Diponegoro, 2004)

Pada dasarnya perbaikan lapis perkerasan dengan metode daur ulang dapat dilaksanakan setelah terlebih dahulu dilakukan pemeriksaan awal untuk mengetahui kondisi permukaan lapis perkerasan maupun kondisi material perkerasan. Dan pemeriksaan awal ini akan diketahui metode yang sesuai untuk digunakan dalam teknik daur ulang maupun cara modifikasi yang harus dilakukan untuk menghasilkan lapis perkerasan daur ulang dengan kualitas dan kuantitas optimal yang direncanakan.

Bahan hasil core dari perkerasan, selanjutnya diperiksa dan dievaluasi untuk mengetahui kualitas dan sifat-sifat yang dimiliki. Secara garis besar evaluasi bahan ini di bagi menjadi 3, yaitu : Evaluasi campuran perkerasan lama (Job Mix Formula Lama), Evaluasi agregat dan Evaluasi aspal.

Asphalt Recycling and Reclamiting Assocation (ARRA) atau Asosiasi Daur Ulang dan Reklamasi Aspal membagi daur ulang perkerasan menjadi empat, yaitu:

1. *Hot Recycling*

Hot recycling adalah proses reklamasi material perkerasan aspal (*reclaimed asphalt pavement* atau RAP) lama yang dicampur dengan bahan material baru yang diproses dalam mesin pemroses campuran aspal (AMP) untuk menghasilkan campuran aspal beton baru (*hot mix asphalt* atau HMA) yang kemudian dipadatkan seperti biasa di lapangan dengan alat pemadat seperti pelaksanaan pekerjaan jalan. Biasanya sekitar 10 sampai 30 persen RAP yang digunakan pada metode hot recycling ini. Material RAP didapat dari hasil proses pengerukan atau pengupasan dan penghancuran perkerasan eksisting. Gambar 2.5 dan 2.6 menunjukkan proses pencampuran bahan pada drum plant. Keuntungan metode ini adalah hasil perkerasan yang sama dengan hasil perkerasan konvensional kerana memperbaiki kerusakan permukaan dan deformasi pada perkerasan.



Gambar 2.5 Proses Penambahan *RAP* ke *Drum Plant*

(Sumber: www.fhwa.dot.gov/pavement/recycling)



Gambar 2.6 Proses Pengolahan RAP pada Drum Plant

(Sumber: www.fhwa.dot.gov/pavement/recycling)

2. *Hot in-place Recycling (HIR)*

Hot in-place recycling adalah metode yang memanaskan dan melunakan perkerasan aspal lama lalu dikeruk dengan kedalaman tertentu kemudian dicampur dengan bahan baru atau dapat ditambahkan dengan bahan RAP. HIR dapat dilakukan dengan lintasan tunggal atau jamak. Untuk lintasan jamak bahan harus dipadatkan kembali terlebih dahulu lalu dilanjutkan dengan lapis aus permukaan baru berikutnya. Kedalaman pelaksanaan bervariasi antara 20 hingga 50 mm. ARRA mengidentifikasi proses HIR, yaitu daur ulang permukaan atau *surface recycling* (gambar 2.7), penghamparan ulang (*repaving*), dan pencampuran ulang (*remixing*).

Proses *surface recycling* adalah dengan memanaskan dan mengeruk perkerasan dengan ketebalan tertentu kemudian dicampurkan dengan bahan baru dan atau RAP yang kemudian dipadatkan. *Repaving* memiliki prase yang sama dengan metode sebelumnya namun metode ini digabungkan dengan proses *overlay HMA* (gambar 2.8). Sedangkan untuk *remixing* (gambar 2.9) RAP dicampurkan dengan material HMA baru kemudian dicampur dan diolah kembali lalu dihamparkan langsung di lapangan. Keuntungan HIR adalah retakan pada permukaan menghilang, bekas roda dan benjolan dapat

diperbaiki, umur rencana diremajakan ,gradasi agregat dan kadar aspal dapat dimodifikasi , gangguan lalu lintas berkurang, dan biaya pengangkutan material lebih rendah.



Gambar 2.7 *Surface recycling*

(Sumber: www.fhwa.dot.gov/pavement/recycling)



Gambar 2.8 *Repaving*

(Sumber: www.fhwa.dot.gov/pavement/recycling)



Gambar 2.9 *Remixing*

(Sumber: www.fhwa.dot.gov/pavement/recycling)

3. *Cold in-place Recycling (CIR)*

Cold in-place recycling (gambar 2.10) adalah metode yang sama dengan *HIR* namun tanpa aplikasi panas, kecuali untuk bahan binder perlu dipanaskan. Biasanya binder yang digunakan adalah aspal emulsi yang disesuaikan dengan berat *RAP*. *Fly ash*, semen, dan kapur dapat ditambahkan pada metode ini. Bahan aditif ini efektif untuk campuran dengan kadar aspal berlebih dan campuran berstabilitas rendah. Tebal pelaksanaan biasanya berkisar 75 hingga 100 mm. Keuntungan metode ini adalah perbaikan struktural yang signifikan, peningkatan daya layan.



Gambar 2.10 *Cold in-place Recycling*
(Sumber: www.fhwa.dot.gov/pavement/recycling)

4. *Full depth Reclamation (FDR)*

Full depth reclamation (reklamasi menyeluruh) didefinisikan sebagai metode daur ulang dimana semua bagian perkerasan dan perbaikan lapisan perkerasan bawah tertentu (base, subbase) untuk menghasilkan lapis pondasi yang stabil. Hal ini pada dasarnya adalah proses *CIR* yang berbeda jenis aditif seperti emulsi aspal dan bahan kimia seperti kalsium klorida, semen portland, abu terbang, dan kapur, ditambahkan untuk memperoleh meningkatkan daya dukung pondasi. Metode ini ada empat langkah dasar, yaitu peleburan, pencampuran aditif, pemedatan, dan penerapan pada lapis permukaan. Bila

material eksisting tidak dapat memenuhi atau tidak cukup untuk memperbaiki persyaratan ketebalan yang diinginkan maka penambahan material baru diperlukan. Metode ini dilaksanakan dengan ketebalan sekitar 100 hingga 300 mm. Keuntungan metode ini adalah memperbaiki sebagian besar kerusakan perkerasan, nilai struktural yang meningkat secara signifikan, biaya pengangkutan diminimalisir. Gambar 2.11 menunjukkan proses *FDR*.



Gambar 2.11 *Full Depth Reclamation*
(Sumber: www.fhwa.dot.gov/pavement/recycling)

2.6 Analisa Perhitungan Hasil Penelitian Campuran Aspal

2.6.1 Rongga udara (*air voids*)

1. Rongga udara dalam campuran (V_a) dan VIM

Rongga udara dalam campuran (V_a) atau VIM dalam campuran beraspal terdiri atas ruang udara diantara partikel agregat yang terselimuti aspal. Volume udara dalam campuran beraspal dapat ditentukan dengan persamaan Rongga udara dalam campuran (Void In The Mixture/ VIM) seperti pada persamaan (2.11)

$$VIM = 100 - 100 \times \frac{G_{mb}}{G_{mm}} \dots \dots \dots 2.11$$

Keterangan :

VIM = *Voild in the mix* (persen rongga dalam campuran)

Gmb = Berat jenis *bulk* dari campuran

Gmm = Berat jenis teoritis maksimal dari campuran padat tanpa rongga Udara.

2. Rongga udara antar mineral agregat (*Void in the Mineral Agregat/ VMA*)

Rongga udara antar mineral agregat (VMA) merupakan ruang rongga diantara partikel agrgat pada campuran beraspal, termasuk rongga udara clan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang terserap agregat). VMA direncanakan berdasarkan berat jenis bulk (Gab) agregat dan dinyatakan sebagai persen volume bulk campuran beraspal. Persamaan VMA terhadap campuran beraspal, seperti persamaan (2.12), dibawah ini

$$VMA = 100 - [(100 - Pb) x \frac{Gmb}{Gsb}] \dots\dots\dots 2.12$$

Keterangan :

VMA = *Void in the Mineral Agregat* Rongga udara antar mineral agregat

Gmb = Berat jenis *bulk* dari campuran

Gsb = Berat jenis *bulk* total agregat dalam gr / cc

3. Rongga udara yang terisi aspal (*Voids Filled with Asphalt/ VFA*)

Rongga udara yang terisi aspal (VFA) adalah persen rongga yang terdapat diantara partikel agregat yang terisi oleh aspal, tidak termasuk aspal yang terserap oleh agregat. Persamaan VFA terhadap campuran beraspal, seperti persamaan (2.13), dibawah ini

$$VFA = 100 x \frac{(VMA - VIM)}{Vma} \dots\dots\dots 2.13$$

Keterangan :

VFA = *Voids Filled with Asphalt* (rongga udara yang terisi aspal)

VMA = *Void in the Mineral Agregat* (rongga udara antar mineral Agregat)

VIM = *Voild in the mix* (persen rongga dalam campuran)

2.6.2 Stabilitas dan flow

Nilai stabilitas diperoleh berdasarkan nilai yang ditunjukkan oleh jarum di dial stabilitas pada alat test Marshall, kemudian dikonversikan pada tabel kalibrasi sesuai proving ring yang digunakan dalam penelitian ini digunakan proving ring dengan kekuatan 10.000 lbf (5.000 kgf). Selanjutnya nilai stabilitas tersebut hares disesuaikan dengan angka koreksi akibat dari tebal benda uji. Untuk nilai Flow ditunjukkan pada angka pada jarumdial *flow*, satuan pada dialnya sudah sesuai dalam satuam mm (milimeter), sehingga tidak diperlukan lagi konversi angka dan kalibrasi jarum dial *flow*.

2.6.3 *Marshall quotient* dan indeks stabilitas sisa (ISS)

1. *Marshall quotient (MQ)*, merupakan hasil bagi dari stabilitas dibagi *flow*, yang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.14) seperti dibawah ini :

$$MQ = \frac{MS}{MF} \dots\dots\dots 2.14$$

Keterangan :

MQ = *Marshall quotient*

MS = *Stabilitas marshall*

MF = *Marshall flow* (kelelahan)

Selanjutnya dilakukan uji rendaman marshall selama 24 jam dalam suhu 60°C untuk mendapatkan nilai indeks stabilitas sisa.

2. Indeks stabilitas sisa marshall (ISS)

$$ISS = \left(\frac{MSI}{MSS} \right) \times 100\% \dots \dots \dots 2.15$$

Keterangan :

- ISS = Indeks stabilitas sisa
 MSI = Stabilitas *marshall* kondisi setengah direndam selama 24 jam dengan suhu 60°C
 MSS = Stabilitas *marshall* kondisi standar

2.6.4 Pemeriksaan aspal ekstrasi (*asphalt extraction test*)

$$\frac{W1 - (W2 + f + S)}{W1} \times 100\% \dots \dots \dots 2.16$$

Keterangan :

- W1 = Berat benda uji sebelum di ekstrasi
 W2 = Berat benda uji setelah di ekstrasi
 f = Berat filter sebelum ekstrasi – berat filter setelah ekstrasi
 S = Berat sisa larutan