

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Lapis Beton Aspal adalah lapisan penutup konstruksi perkerasan jalan yang mempunyai nilai struktural dalam menahan beban kendaraan. Pertama kali dikembangkan di Amerika oleh *The Asphalt Institute* dengan nama *Asphalt Concrete (AC)*. Menurut Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum, campuran ini terdiri atas agregat bergradasi menerus dengan aspal keras, dicampur, dihamparkan dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu. Suhu pencampuran ditentukan berdasarkan jenis aspal yang akan digunakan. Sedangkan yang dimaksud gradasi menerus adalah komposisi yang menunjukkan pembagian butir yang merata mulai dari ukuran yang terbesar sampai dengan ukuran yang terkecil. Beton aspal dengan campuran bergradasi menerus memiliki komposisi yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus, mineral pengisi (*filler*) dan aspal (bitumen) sebagai pengikat.

2.2 Beton Aspal

Beton aspal adalah jenis perkerasan jalan yang terdiri dari campuran agregat dan aspal, dengan atau tanpa bahan tambahan. Material-material pembentuk beton aspal dicampur dicampur di instalasi pencampur pada suhu tertentu, kemudian diangkut ke lokasi, dihamparkan dan dipadatkan. Suhu pencampuran ditentukan berdasarkan jenis aspal yang akan digunakan. Jika semen aspal, maka pencampuran umumnya antara 145-155°C, sehingga disebut beton aspal campuran panas. Campuran ini dikenal dengan nama *hotmix*. Beton aspal yang menggunakan aspal cair dapat dicampur pada suhu ruang, sehingga dinamakan *coldmix* (Sukirman, 2003).

2.2.1 Jenis Beton Aspal

Jenis beton aspal dibedakan berdasarkan suhu pencampuran material pembentuk beton aspal. Berdasarkan temperatur ketika mencampur dan memadatkan campuran beton aspal saat dibedakan atas:

1. Beton aspal campuran panas (*hotmix*), adalah beton aspal yang material pembentuknya dicampur pada suhu pencampuran sekitar 140°C.
2. Beton aspal campuran sedang (*warmmix*), adalah beton aspal yang material pembentuknya dicampur pada suhu pencampuran sekitar 60°C.
3. Beton aspal campuran panas (*coldmix*), adalah beton aspal yang material pembentuknya dicampur pada suhu pencampuran sekitar 25°C.
4. Beton aspal untuk lapisan aus (*wearing course*), adalah lapisan perkerasan yang berhubungan langsung dengan ban kendaraan, merupakan lapisan yang kedap air, tahan terhadap cuaca, dan mempunyai kekesatan yang disyaratkan.
5. Beton aspal untuk lapisan pondasi (*binder course*), adalah lapisan perkerasan yang terletak di bawah lapisan aus. Tidak berhubungan langsung dengan cuaca, tetapi perlu memiliki stabilitas untuk memikul beban lalu lintas yang dilimpahkan melalui roda kendaraan.
6. Beton aspal untuk pembentuk dan perata lapisan beton aspal yang sudah lama, yang pada umumnya sudah aus dan seringkali tidak berbentuk *crown*.

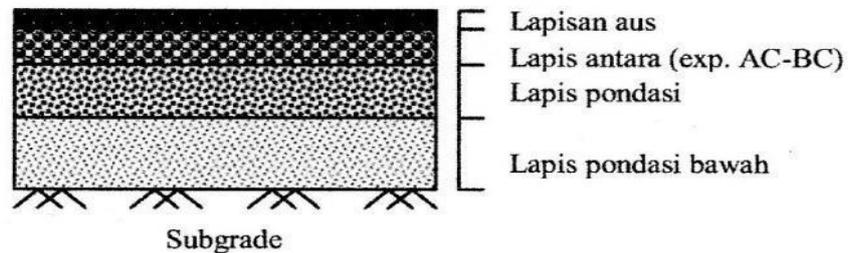
Saat ini di Indonesia terdapat berbagai macam jenis beton aspal campuran panas yang digunakan untuk lapisan perkerasan jalan. Perbedaannya terletak pada jenis gradasi agregat dan kadar aspal yang digunakan. Pemilihan jenis beton aspal yang akan digunakan di suatu lokasi, sangat ditentukan oleh jenis karakteristik beton aspal yang lebih diutamakan. Sebagai contoh, jika perkerasan jalan direncanakan akan digunakan untuk melayani lalu lintas kendaraan 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 sedikit, kadar aspal yang dapat dicampurkan juga berkurang, sehingga selimut aspal menjadi lebih tipis.

Jenis beton aspal campuran panas yang ada di Indonesia saat ini adalah:

1. Laston (Lapisan Aspal Beton), adalah beton aspal bergradasi menerus yang umum digunakan untuk jalan-jalan dengan beban lalu lintas berat. Laston dikenal pula dengan nama AC (*Asphalt Concrete*). Karakteristik beton aspal yang terpenting pada campuran ini adalah stabilitas. Tebal nominal minimum Laston 4-7,5 cm (Spesifikasi Umum Bina Marga 2010). Sesuai fungsinya laston mempunyai 3 macam campuran, yaitu:
 - a) Laston sebagai lapisan aus, dikenal dengan nama AC-WC (*Asphalt Concrete- Wearing Course*). Tebal nominal minimum AC-WC adalah 4 cm.
 - b) Laston sebagai lapisan pengikat, dikenal dengan nama AC-BC (*Asphalt Concrete – Binder Course*). Tebal Minimum AC-BC andalan 6 cm.
 - c) Laston sebagai lapisan pondasi, dikenal dengan nama AC-Base (*Asphalt Concrete – Binder Base*). Tebal Minimum AC-Base andalan 7,5 cm.
1. Lataston (Lapisan Tipis Aspal Beton), adalah beton aspal bergradasi senjang. Lataston biasa pula disebut dengan HRS (*Hot Rolled Sheet*).
2. Latasir (Lapisan Tipis Aspal Pasir), adalah beton aspal unuk jalan-jalan dengan lalu lintas ringan, khususnya dimana agregat kasar tidak atau sulit diperoleh.
3. Lapisan perata adalah beton aspal yang digunakan sebagai lapisan perata dan pembentuk penampang melintang pada permukaan jalan lama.

2.2.2 Asphalt Concrete-Binder Course (AC-BC)

AC-BC merupakan Laston sebagai lapisan antara dengan tebal perkerasan minimum adalah 6 cm. Bahan campuran AC-BC terdiri dari agregat kasar, agregat halus, bahan pengisi (*filler*) dan aspal. Bahan-bahan tersebut sebelum digunakan harus diuji terlebih dahulu untuk mengetahui sifat-sifatnya. Secara aplikasi penggunaan campuran AC-BC dalam susunan struktur perkerasan jalan dapat dilihat dalam **gambar 2.1**.



Gambar 2.1 Lapis Perkerasan Jalan Fleksible

Fungsi dari lapis AC-BC menurut Puslitbang Prasarana Transportasi (2004) adalah mengurangi tegangan dan menahan beban maksimum akibat beban lalu lintas, sehingga harus mempunyai kekuatan yang cukup.

2.2.3 Persyaratan Pencampuran AC-BC

Komposisi rencana campuran AC-BC berada dalam batas-batas rencana yang diberikan pada **tabel 2.1**.

Tabel 2.1 Ketentuan Sifat-Sifat Campuran AC-BC

Sifat-sifat Campura		Laston		
		Lapis Aus	Laspis antara	Pondasi
Jumlah tumbukan perbidang		75		112
Rasio Partikel ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif	Min	1,0		
	Maks	1,4		
Rongga dalam Campuran %	Min	3,0		
	Maks	5,0		
Rongga dalam Agregat (VMA) %	Min	15	14	13
Rongga Terisi Aspal %	Min	65	65	65
Stabilitas Marshall	Min	800		1800
Pelelehan (mm)	Min	2		3
	Maks	4		6
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C	Min	90		
Rongga dalam campuran (%) pada Kepadatan membal (refusal)	Min	2		

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

2.3 Agregat

Agregat didefinisikan secara umum sebagai formasi kulit bumi yang keras dan padat. ASTM mendefinisikan agregat sebagai suatu bahan yang terdiri dari mineral padat, berupa masa berukuran besar ataupun berupa fragmen-fragmen. Agregat merupakan komponen utama dari struktur perkerasan jalan, yaitu 90-95% agregat berdasarkan persentase berat atau 75-85% agregat berdasarkan persentase volume. Dengan demikian kualitas perkerasan jalan ditentukan juga dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain. (Sukirman, 2003).

2.3.1 Jenis Agregat Berdasarkan Proses Terjadinya

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

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.

Agregat sedimen 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.

Agregat metamorfik adalah agregat sedimen ataupun agregat beku yang mengalami proses perubahan bentuk akibat adanya perubahan tekanan dan temperatur kulit bumi (Sukirman, 2003).

2.3.2 Jenis Agregat Berdasarkan Pengolahannya

Berdasarkan pengolahannya agregat dapat dibedakan atas agregat siap pakai, dan agregat yang perlu diolah terlebih dahulu sebelum dipakai. 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. Bentuk dari partikel agregat alam ditentukan berdasarkan proses yang dialaminya. Aliran air menyebabkan erosi pada agregat, sehingga partikel agregatnya cenderung bulat-bulat, dengan tekstur permukaan licin. Proses degradasi agregat di bukit-bukit akan membentuk agregat bersudut, dan kasar. Dua bentuk dan ukuran agregat alam yang sering dipergunakan sebagai material perkerasan jalan, yaitu kerikil dan pasir.

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). Sungai-sungai yang membawa agregat di musim hujan, umumnya membawa agregat ukuran besar sehingga tidak memenuhi persyaratan ukuran yang ditentukan.

Agar agregat 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. Agregat yang berasal dari gunung, bukit, dan sungai yang perlu melalui proses pengolahan terlebih dahulu menggunakan mesin pemecah batu, yang umumnya lebih baik sebagai material perkerasan jalan, karena mempunyai bidang pecahan, bertekstur kasar dan ukuran agregat sesuai dengan yang diinginkan. Di samping itu terdapat pula agregat yang merupakan hasil olahan pabrik seperti semen dan kapur, atau limbah industri seperti abu terbang (Sukirman, 2003).

2.3.3 Jenis Agregat Berdasarkan Ukuran Butir Nominal

Berdasarkan ukuran butiran agregat dapat dibedakan atas agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi (filler). Batasan dari masing-masing agregat ini sering kali berbeda, sesuai institusi yang menentukannya.

The Asphalt Institut dan Depkimpraswil dalam Spesifikasi Baru Campuran Panas, 2002 membedakan agregat menjadi:

- a. Agregat kasar, adalah agregat dengan ukuran butir lebih besar dari saringan No.8 (=2,36mm)
- b. Agregat halus, adalah agregat dengan ukuran butir lebih halus dari saringan No.8 (=2,36mm)
- c. Bahan pengisi (filler), adalah bagian dari agregat halus yang lolos saringan No.30 (=0,60mm) (Sukirman, 2003)

Pembagian Agregat Berdasarkan Ukuran Butiran Menurut Bina Marga (2010):

- a. Agregat Kasar, adalah agregat dengan ukuran butiran lebih besar dari saringan No. 4 (4,75 mm)
- b. Agregat Halus, adalah agregat dengan ukuran butiran lebih halus dari saringan No.4 (4,75 mm).
- c. Bahan Pengisi (filler), adalah bagian dari agregat halus yang minimum 75% lolos saringan no. 200 (0,075 mm).

a. Agregat Kasar

Agregat kasar menjadikan perkerasan lebih stabil dan mempunyai *skid resistance* (tahanan terhadap selip) yang tinggi sehingga lebih menjamin keamanan dalam berkendara. Agregat kasar juga mempunyai berbagai bentuk butiran, Bentuk butiran yang bulat (*particle shape*) memudahkan proses pemadatan, tetapi rendah stabilitasnya, sedangkan yang berbentuk menyudut (*angular*) sulit dipadatkan tetapi mempunyai stabilitas yang tinggi. Agregat kasar harus mempunyai ketahanan terhadap abrasi bila akan digunakan sebagai campuran Asphalt Concrete-Binder Course (AC-BC) , untuk itu nilai *Los Angeles Abrasion Test* harus dipenuhi.



Gambar 2.2 Agregat Kasar

Menurut Spesifikasi Umum Divisi 6 Bia Marga, agregat kasar dalam campuran harus memenuhi ketentuan yang diberikan dalam tabel 2.2.

Tabel 2.2 Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian		Standar	Nilai
Kekekalan Bentuk Agregat Terhadap Larutan	Natrium Sulfat	SNI 3407:2008	Maks 12%
	Magnesium Sulfat		Maks 18%
Abrasi Dengan Mesin Los Angeles	Campuran AC modifikaasi	100 Putaran	Maks 6%
		500 Putaran	Maks 30%
	Semua jenis campuran aspal bergradasi lainnya	100 Putaran	Maks 8%
		500 Putaran	Maks 40%
Kekekalan Agregat Terhadap Aspal		SNI 2439:2011	Min 95%
		SNI 7619:2012	95/90
Partikel Pipih Dan Lonjong		ASTM D4791 Perbandingan 1:5	Maks 10%
Material Lolos Ayakan No.200		SNI 03-4142-1996	Maks 2%

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

b. Agregat Halus

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. Untuk hal ini maka sifat eksternal yang diperlukan adalah *angularity* (bentuk menyudut) dan *particle surface roughness* (kekasaran

permukaan butiran). Dan agregat halus harus merupakan bahan yang bersih, keras, bebas dari lempung, atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya.

Batu pecah halus harus diperoleh dari batu yang memenuhi ketentuan mutu dalam tabel 2.3.

Tabel 2.3 Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Standar	Nilai
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-1997	Min 60%
Angularitas Dengan Uji Kadar Rongga	SNI 03-6877-2002	Min 45
Gumpalan Lempung Dan Butir-Butir Mudah Pecah	SNI 03-4141-1996	Maks 1%
Agregat Lolos Ayakan No.200	SNI ASTM C117:2012	Maks 10%

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

2.3.4 Bentuk dan Tekstur Agregat

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

1. 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.

2. 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.

3. 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.

4. Pipih (*flaky*)

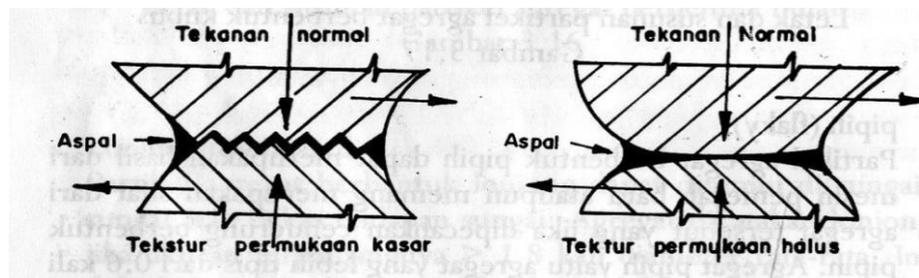
Partikel agregat berbentuk pipih dapat merupakan hasil dari produksi dari mesin pemecah batu ataupun memang merupakan sifat dari agregat tersebut jika dipecahkan cenderung berbentuk pipih. Agregat pipih yaitu agregat yang ketebalannya lebih tipis dari 0,6 kali diameter rata-rata. Indeks kepipihan (*flakiness 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.

5. 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 yang permukaannya berpori (*porous*). Gesekan timbul terutama pada partikel-partikel yang permukaannya kasar (seperti ampelas).

Sudut geser dalam antar partikel bertambah besar dengan semakin bertambah kasarnya permukaan agregat. Disamping itu agregat yang kasar lebih mampu menahan deformasi yang timbul dengan menghasilkan ikatan antar partikel yang lebih kuat. Pada campuran dengan aspal pun ikatan antara partikel-partikel dan lapisan aspal lebih baik pada permukaan kasar dibandingkan dari permukaan halus. Agregat berpori akan menyerap aspal lebih banyak sehingga aspal yang menyelimuti agregat akan lebih tipis dan menyebabkan cepat lepasnya ikatan antara agregat dengan aspal. Disamping itu agregat berpori umumnya lebih mudah pecah atau hancur.



Gambar 2.3 Diagram Efek dari Permukaan Agregat Terhadap Tahanan Geser

Agregat yang merupakan hasil mesin pemecah batu mempunyai permukaan kasar, sedangkan agregat dari sungai biasanya halus dan licin (Sukirman, 1995).



Gambar 2.4 Bentuk-Bentuk Agregat

2.3.5 Sifat Agregat Sebagai Material Perkerasan Jalan

Sifat agregat merupakan salah satu faktor penentu kemampuan perkerasan jalan dalam memikul beban lalu lintas dan daya tahan terhadap cuaca. Oleh karena itu perlu pemeriksaan yang teliti sebelum diputuskan suatu agregat dapat

dipergunakan sebagai material perkerasan jalan. Sifat agregat yang menentukan kualitasnya sebagai material perkerasan jalan adalah gradasi, kebersihan, kekerasan dan ketahanan agregat, bentuk butir, tekstur permukaan, porositas, kemampuan untuk menyerap air, berat jenis, dan daya pelekatan dengan aspal.

2.3.6 Gradasi Agregat

Gradasi agregat merupakan sifat yang luas pengaruhnya terhadap kualitas perkerasan secara keseluruhan. Gradasi agregat terdiri dari susunan butir agregat yang 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. Tabel yang menunjukkan bukaan dari masing-masing saringan berdasarkan *AASHTO*. Gradasi agregat diperoleh dari hasil analisis pemeriksaan dengan menggunakan satu set saringan. Saringan berukuran bukaan paling besar diletakkan teratas, dan yang paling halus (No. 200), terbawah sebelum pan. Jadi satu set saringan dimulai dari pan dan diakhiri dengan tutup saringan. Ukuran Bukaan Saringan dapat dilihat pada tabel 2.4.

Tabel 2.4 Ukuran Bukaan Saringan

No.	Ukuran Saringan (inci)	Bukaan (mm)
1.	1	25
2.	¾	19
3.	½	12,5
4.	⅜	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: Pedoman Pratikum Bahan Perkerasan Jalan-Laboratorium Bahan Jurusan Teknik Sipil Universitas Indonesia)

Gradasi agregat menentukan besarnya rongga atau pori yang mungkin terjadi dalam agregat campuran. Agregat campuran yang terdiri dari agregat berukuran sama akan berongga atau berpori banyak, karena tak terdapat agregat berukuran kecil yang dapat mengisi rongga yang terjadi. Sebaliknya, jika campuran agregat terdistribusi dari agregat berukuran besar sampai kecil secara merata, maka rongga atau pori yang terjadi sedikit. Hal ini disebabkan karena rongga yang terbentuk oleh susunan agregat berukuran besar, akan diisi oleh agregat berukuran lebih kecil. Gradasi agregat dapat dikelompokkan menjadi:

1. Agregat Bergradasi Baik

Agregat bergradasi baik adalah agregat yang ukuran butirnya terdistribusi merata dalam satu rentang ukuran butir. Agregat bergradasi baik disebut juga agregat bergradasi rapat. Campuran agregat bergradasi baik mempunyai pori sedikit, mudah dipadatkan, dan mempunyai stabilitas tinggi. Tingkat stabilitas ditentukan dari ukuran butir agregat terbesar yang ada. Berdasarkan ukuran butir agregat yang dominan menyusun campuran agregat, maka agregat bergradasi baik dapat dibedakan atas:

- a. Agregat bergradasi kasar adalah agregat bergradasi baik yang mempunyai susunan ukuran terus menerus dari kasar sampai dengan halus, tetapi dominan berukuran agregat kasar.
- b. Agregat bergradasi halus adalah agregat bergradasi baik yang mempunyai susunan ukuran menerus dari kasar sampai dengan halus, tetapi dominan berukuran agregat halus. Agregat bergradasi baik atau buruk dapat diperiksa dengan menggunakan rumus *fuller*. Perencanaan campuran dengan metode ini bertitik tolak pada

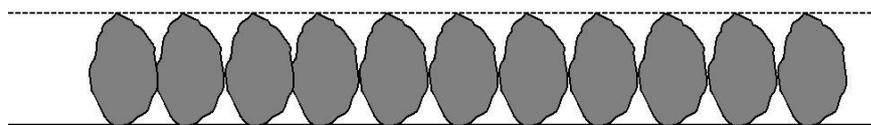
stabilitas yang dihasilkan. Oleh karena itu yang menjadi dasar adalah gradasi agregat campuran yang harus memenuhi lengkung *Fuller*.

2. 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:

a. 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.



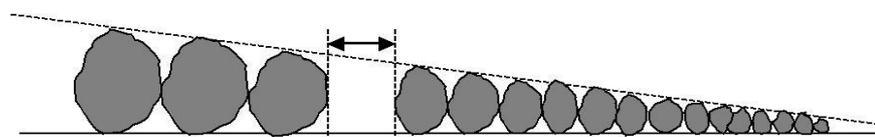
Gambar 2.5 Gradasi Seragam

b. Agregat bergradasi terbuka

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

c. 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 2.6 Gradasi Senjang

Kombinasi gradasi agregat campuran dinyatakan dalam persen berat agregat. Titik-titik kontrol berfungsi sebagai batas rentang dimana suatu target gradasi harus lewat titik-titik tersebut diletakkan di ukuran maksimum nominal dan dipertengahan saringan (2,36 mm) dan ukuran saringan terkecil (0,075 mm).

Tabel 2.5 Gradasi Agregat Gabungan untuk Campuran Aspal

Ukuran Ayakan (mm)	% Berat Yang Lolos Terhadap Total Agregat Dalam Campuran								
	Latasir (SS)		Lataston (HRS)				Laston (AC)		
	Kelas A	Kelas B	Gradasi Senjang		Gradasi Semi Senjang		WC	BC	Base
			Wc	Base	WC	Base			
37,5									100
25								100	90-100
19	100	100	100	100	100	100	100	90-100	76-90
12,5			90-10	90-10	87-100	90-100	90-100	75-90	60-78
9,5	90-100		75-85	65-90	55-88	55-70	77-90	66-82	52-71
4,75							53-69	46-64	35-54
2,36		75-100	50-72	35-55	50-62	32-44	33-53	30-49	23-41
1,18							21-40	18-38	13-30
0,600			35-60	15-35	20-45	15-35	14-30	12-28	10-22
0,300					15-35	5-35	9-22	7-20	6-15
0,150							6-15	5-13	4-10
0,075	10 - 15	8-13	6-10	2-9	6-10	4-8	4-9	4-8	3-7

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

2.3.7 Kebersihan Agregat

Kebersihan agregat ditentukan dari banyaknya butir-butir halus yang lolos saringan No. 200, seperti adanya lempung, lanau, atau pun adanya tumbuh-tumbuhan pada campuran agregat. Agregat yang banyak mengandung material yang lolos saringan No. 200, jika dipergunakan sebagai bahan campuran beton aspal, akan menghasilkan beton aspal berkualitas rendah. Hal ini disebabkan material halus membungkus partikel agregat yang lebih kasar, sehingga ikatan antara agregat dan bahan pengikatnya, yaitu aspal akan berkurang, dan berakibat mudah lepasnya ikatan antara aspal dan agregat. Pemeriksaan kebersihan agregat dilakukan melalui pengujian seperti pada tabel 2.6.

Tabel 2.6 Jenis Pengujian Kebersihan Agregat

No.	Jenis Pengujian	SNI	AASHTO
1.	Pengujian bahan dalam agregat yang lolos saringan No. 200	SNI-M-02-1994-03	T 11-90
2.	Pengujian agregat halus atau pasir yang mengandung bahan plastis dengan cara setara pasir	Pd M-03-1993-03	T 176-86
3.	Pengujian adanya gumpalan lempung dalam agregat	-	T 112-87

Sumber: *Beton Aspal Campuran Panas, 2007.*

2.3.8 Daya Tahan Agregat

Daya tahan agregat merupakan ketahanan agregat untuk tidak hancur atau pecah oleh pengaruh mekanis ataupun kimia. Degradasi didefinisikan sebagai kehancuran agregat menjadi partikel-partikel yang lebih kecil akibat gaya yang diberikan pada waktu penimbunan, pemadatan, ataupun oleh beban lalu lintas. Disintegrasi didefinisikan sebagai pelapukan pada agregat menjadi butir-butir halus akibat pengaruh kimiawi, seperti pengaruh kelembaban, kepanasan, ataupun perbedaan temperatur sehari-hari. Agregat yang digunakan untuk lapisan perkerasan haruslah mempunyai daya tahan terhadap degradasi (pemecahan) yang mungkin timbul selama proses pencampuran, pemadatan, repetisi beban lalu lintas dan disintegrasi (penghancuran) yang terjadi selama masa pelayanan jalan tersebut.

Faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat degradasi yang terjadi sangat ditentukan oleh:

- a. Jenis Agregat, agregat yang lunak mengalami degradasi yang lebih besar dari agregat yang lebih keras.

- b. Gradasi, gradasi terbuka mempunyai tingkat degradasi yang lebih besar dibandingkan dengan gradasi rapat.
- c. Bentuk, partikel bulat akan mengalami degradasi yang lebih besar dari yang berbentuk kubus/bersudut.
- d. Ukuran partikel, partikel yang lebih kecil mempunyai tingkat degradasi yang lebih kecil daripada partikel besar.
- e. Energi pemadatan, degradasi akan terjadi lebih besar pada pemadatan dengan menggunakan energi pemadatan yang lebih besar.

Ketahanan agregat terhadap penghancuran (degradasi) diperiksa dengan menggunakan SNI 2417:2008 Cara Uji Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi *Los Angeles*.

2.3.9 Berat Jenis Agregat

Di dalam perhitungan rancangan campuran dibutuhkan parameter petunjuk berat, yaitu berat jenis agregat. Berat jenis agregat adalah perbandingan antara berat volume agregat dan berat volume air. Agregat dengan berat jenis kecil, mempunyai volume yang besar, atau berat yang ringan.

Volume butir agregat, yang terdiri dari volume agregat masif (V_s), volume pori yang tidak dapat diresapi oleh air (V_i), volume air yang dapat diresapi oleh air (V_p+V_c) dan volume pori yang dapat diresapi aspal (V_c). Terdapat jenis-jenis dari berat jenis (*specific gravity*), yaitu:

- a. Berat jenis *bulk*, adalah berat jenis dengan memperhitungkan berat agregat dalam keadaan kering dan seluruh volume agregat ($V_s+V_i+V_p+V_c$).
- b. Berat jenis kering permukaan, adalah berat jenis dengan memperhitungkan berat agregat dalam keadaan kering permukaan, jadi merupakan berat agregat kering + berat air yang dapat meresap ke dalam pori agregat, dan seluruh volume agregat. ($V_s+ V_i+V_p+V_c$).
- c. Berat jenis semu, adalah berat jenis agregat dengan memperhitungkan berat agregat dalam keadaan kering, dan volume agregat yang tak dapat diresap oleh air (V_s+V_i).

- d. Berat jenis efektif, adalah berat jenis dengan memperhitungkan berat agregat dalam keadaan kering, jadi merupakan berat agregat kering dan volume agregat yang tak dapat diresapi aspal ($V_s + V_i + V_p$).

Pengukuran volume agregat dalam proses penentuan berat jenis agregat dilakukan dengan mempergunakan hukum *Archimedes*, yaitu berat benda di dalam air akan berkurang sebanyak berat zat cair yang digunakan. Dengan mengasumsikan berat jenis dan berat volume air adalah selalu sama dengan satu, maka volume agregat sama dengan berat zat cair yang dipindahkan.

Bahan pengisi (*filler*) berbutir agregat halus, sehingga sukar menentukan berat jenis kering permukaan, oleh karena itu pada umumnya dipergunakan berat jenis semu untuk bahan pengisi (*filler*). Jadi, tidak perlu ditentukan berat jenis *bulknya* (Sukirman, 2003).

2.4 Aspal

Aspal didefinisikan sebagai material berwarna hitam atau coklat tua, pada temperatur ruang padat sampai agak padat sampai agak padat. Jika dipanaskan sampai suatu temperatur tertentu aspal dapat menjadi lunak atau cair sehingga dapat membungkus partikel agregat pada waktu pembuatan aspal beton atau dapat masuk kedalam pori-pori yang ada pada penyemprotan atau penyiraman pada perkerasan macadam ataupun pelaburan. Jika temperatur mulai turun, aspal akan mengeras serta mengikat agregat pada tempatnya (sifat termoplastis).

Sebagai salah satu material konstruksi perkerasan lentur, aspal merupakan salah satu komponen kecil, umumnya hanya 4-10% berdasarkan berat atau 10-15% berdasarkan volume, tetapi merupakan komponen yang relatif mahal.

Hydrokarbon adalah suatu bahan dasar utama dari aspal yang umum disebut bitumen, sehingga aspal sering disebut juga dengan bitumen. Sifat aspal akan berubah akibat panas dan umur, aspal akan menjadi kaku dan rapuh akhirnya daya adhesinya terhadap partikel agregat akan berkurang. Perubahan ini dapat diatasi atau dikurangi jika sifat-sifat aspal dikuasai dan dilakukan langkah-langkah yang baik dalam proses pelaksanaan. (Sukirman, 2003)

2.4.1 Jenis Aspal

Berdasarkan tempat diperolehnya, aspal dibedakan menjadi 2 macam yaitu aspal alam dan aspal minyak.

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 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. (Sukirman, 2003).

a) Aspal keras / *cement* (AC)

Aspal semen pada temperatur ruang (25°-30° C) berbentuk padat. Aspal semen terdiri dari beberapa jenis tergantung dari proses pembuatannya dan jenis minyak bumi asalnya. Prnglompokkan aspal semen dapat dilakukan berdasarkan nilai penetrasi pada temperatur 25°C ataupun berdasarkan nilai viskositasnya.

Di Indonesia, aspal semen biasanya dibedakan berdasarkan nilai penetrasinya yaitu:

1. AC pen 40/50, yaitu AC dengan penetrasi antara 40/50.
2. AC pen 60/70, yaitu AC dengan penetrasi antara 60-70.
3. AC pen 85-100, yaitu AC dengan penetrasi antara 85-100.
4. AC pen 120/150, yaitu AC dengan penetrasi antara 120-150.
5. AC pen 200//300, yaitu AC dengan penetrasi antara 200-300.

Semen aspal dengan penetrasi rendah digunakan di daerah bercuaca panas atau lalu lintas dengan volume tinggi, sedangkan semen aspal dengan penetrasi tinggi digunakan untuk daerah bercuaca dingin atau lalu lintas dengan volume rendah. DiIndonesia pada umumnya dipergunakan semen aspal dengan penetrasi 60/70 dan penetrasi 80/100. (Sukirman,1995).

b) *Aspal Cair (Cut Back Asphalt)*

Aspal cair adalah campuran antara aspal semen dengan bahan pencair dari hasil penyulingan minyak bumi. Dengan demikian *cut back asphalt* berbentuk cair dalam temperatur ruang. Berdasarkan bahan pencairnya dan kemudahan menguap bahan pelarutnya, aspal cair dapat dibedakan atas:

1. *Rapid curing cut back (RC)*, yaitu aspal cair dengan bahan pencair bensin. RC merupakan aspal cair yang paling cepat menguap.
2. *Medium curing cut back asphalt (MC)*, yaitu aspal cair dengan bahan pencair minyak tanah (*kerosene*).
3. *Slow curing cut back asphalt (SC)*, yaitu aspal cair dengan bahan pencair solar (minyak diesel). Aspal jenis ini merupakan *cut back asphalt* yang paling lama menguap. Berdasarkan nilai viskositas pada temperatur 60°, *cutback asphalt* dapat dibedakan atas:

Tabel 2.7 Nilai Viskositas aspal temperatur 60°

Rapid Curing	Medium Curing	Slow Curing
RC 30-60	MC 30-60	SC 30-60
RC 70-140	MC 70-140	SC 70-140

RC 250-500	MC 250-500	SC 250-500
RC 800-1600	MC 800-1600	SC 800-1600
RC 3000-6000	MC 3000-6000	SC 3000-6000

(Sumber: Sukirman, 1995)

Spesifikasi meliputi tiga mutu aspal cair RC – 70, RC – 250 dan RC – 800,

syarat umum aspal cair adalah sebagai berikut :

1. Aspal cair harus berasal dari hasil minyak bumi.
2. Aspal harus mempunyai sifat sejenis, bebas air dan tidak berbusa jika di panaskan.
3. Jika dipakai menunjukkan pemisahan atau penggumpalan.

c) Aspal Emulsi.

Aspal emulsi adalah suatu campuran aspal dengan air dan bahan pengemulsi. Berdasarkan muatan listrik yang dikandungnya, aspal emulsi dibedakan atas:

1. Kationik disebut juga aspal pengemulsi asam, merupakan aspal emulsi yang bermuatan arus listrik positif.
2. Anionik disebut juga aspal pengemulsi basa, merupakan aspal emulsi yang bermuatan arus listrik negatif.
3. Nonionik disebut juga aspal pengemulsi yang tidak mengalami ionisasi, berarti tidak mengantarkan listrik. Yang umum dipergunakan sebagai bahan perkerasan jalan adalah aspal emulsi anionik dan kationik.

Berdasarkan kecepatan pengerasannya aspal emulsi dapat dibedakan atas :

1. *Rapid Setting* (RS), aspal yang mengandung sedikit bahan pengemulsi sehingga pengikatan yang terjadi cepat.
2. *Medium setting* (MS).
3. *Slow Setting* (SS), jenis aspal emulsi yang paling lambat menguap.

2.4.2 Sifat Kimiawi Aspal

Aspal terdiri dari senyawa hidrokarbon, nitrogen dan logam lain sesuai jenis minyak bumi dan proses pengolahannya. Mutu kimiawi aspal ditentukan dari komponen pembentuk aspal. Saat ini telah banyak metode yang digunakan untuk meneliti komponen-komponen pembentuk aspal. Komponen fraksional pembentuk aspal dikelompokkan berdasarkan karakteristik reaksi yang sama.

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. Asphaltenes (A)
2. Nitrogen based (N)
3. Acidaffin I (A_1)
4. Acidaffin II (A_2)
5. Paraffins (P)

Komposisi aspal :

1. Asphaltenes
2. Maltenes
 - a) Recins:
 - 1) Nitrogen Bases
 - 2) Acidafin I
 - b) Oils :
 - 1) Acidafin II
 - 2) Parafin

(Sumber: Sukirman, 2003).

2.4.3 Fungsi Aspal Sebagai Material Perkerasan Jalan

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.

- a. 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).

- b. Adhesi dan Kohesi

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

- c. Kepekaan terhadap temperatur

Aspal adalah material yang termoplastis, berarti akan menjadi keras atau lebih kental jika temperatur 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.

- d. 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. (Sukirman, 2003).

2.4.4 Pemeriksaan 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.

A. Pemeriksaan Yang Dilakukan Untuk Aspal Keras

Pemeriksaan yang dilakukan untuk aspal keras adalah sebagai berikut :

a. Pemeriksaan penetrasi aspal.

Pemeriksaan penetrasi aspal bertujuan untuk memeriksa tingkat kekerasan aspal. Prosedur pemeriksaan mengikuti SNI 06–2456–1991. Pemeriksaan dilakukan dengan jarum penetrasi berdiameter 1 mm dengan menggunakan beban seberat 50 gram sehingga diperoleh beban seberat 50 gram sehingga diperoleh beban gerak seberat 100 gram (berat jarum + beban) selama 5 detik pada temperatur 25°. Besarnya penetrasi diukur dan dinyatakan dalam angka yang merupakan kelipatan 0,1 mm (Sukirman, 1995).



Gambar 2.7 Alat Penetrasi Aspal

b. Pemeriksaan titik lembek aspal.

Temperatur pada saat dimana aspal mulai menjadi lunak tidaklah sama pada setiap hasil produksi aspal walaupun mempunyai nilai penetrasi yang sama. Oleh karena itu temperatur tersebut dapat diperiksa dengan mengikuti prosedur SNI 06–2434–1991. Pemeriksaan menggunakan cincin yang terbuat dari kuningan dan bola baja. Titik lembek ialah suatu suhu dimana suatu lapisan aspal dalam cincin yang diletakkan horizontal di dalam larutan air atau gliserine yang dipanaskan secara teratur menjadi lembek karena beban bola baja dengan diameter 9,53 mm seberat $\pm 3,5$ gram yang diletakkan di atasnya sehingga lapisan aspal tersebut jatuh melalui jarak 25,4 mm (1 inch). Titik lembek aspal bervariasi antara 30°-200°C. 2 aspal yang mempunyai penetrasi yang sama belum tentu mempunyai titik lembek yang sama. Aspal dengan titik lembek yang lebih tinggi kurang peka terhadap perubahan temperatur dan lebih baik untuk bahan pengikat konstruksi perkerasan (Sukirman).



(a) Cincin dan bola baja



(b) gelas ukur



(c) termometer

Gambar 2.8 Alat Pengujian Titik Lembek

c. Pemeriksaan Titik Nyala Dan Titik Bakar Dengan Cleveland Open Cup.

Pemeriksaan titik nyala untuk aspal keras mengikuti prosedur SNI 06–2433–1991, yang berguna untuk menentukan suhu dimana aspal terlihat

menyala singkat di permukaan aspal (titik nyala), dan suhu pada saat terlihat nyala sekurang-kurangnya 5 detik. Aspal disiapkan dalam cleveland open cup yang berbentuk cawan dari kuningan dan diletakkan pada alat pemanas. Titik nyala dan titik bakar perlu diketahui untuk memperkirakan temperatur maksimum pemanasan aspal hingga aspal tidak terbakar. Pemeriksaan harus dilakukan dalam ruang gelap sehingga dapat diketahui timbulnya nyala pertama (Sukirman,).



Gambar 2.9 Alat Pengujian Titik Nyala dan Titik bakar

. d. Pemeriksaan Daktilitas Aspal.

Tujuan pemeriksaan ini untuk mengetahui sifat kohesi dalam aspal itu sendiri yaitu dengan mengukur jarak terpanjang yang dapat ditarik antara 2 cetakan yang berisi bitumen keras sebelum putus, pada suhu dan kecepatan tarik tertentu. Pemeriksaan mengikuti prosedur SNI 06-2432-1991. Aspal dengan daktilitas yang lebih besar mengikat butir-butir agregat lebih baik tetapi lebih peka terhadap perubahan temperatur. Aspal dicetak pada cetakan dan penarikan dilakukan dengan alatnya. Umumnya pemeriksaan dilakukan pada suhu 25°C dengan kecepatan penarikan 5cm/menit. (Sukirman).



(a) Penarik aspal



(b) Cetakan aspal

Gambar 2.10 Alat Pengujian Daktilitas Aspal

e. Pemeriksaan Berat Jenis Aspal.

Berat jenis aspal adalah perbandingan antara berat aspal dan berat air suling dengan isi yang sama pada suhu tertentu, 25° atau $15,6^{\circ}$ C.

Prosedur pemeriksaan mengikuti SNI 06-2441-1991.



Gambar 2.11 Cawan Pengujian Berat Jenis Aspal

2.5 Pengujian Marshall

Kinerja beton aspal padat ditentukan melalui pengujian benda uji yang meliputi:

- a. Penentuan berat volume benda uji.
- b. Pengujian nilai stabilitas, adalah kemampuan maksimum beton aspal padat menerima beban sampai terjadi kelelahan plastis.
- c. Pengujian kelelahan (*flow*), adalah besarnya perubahan bentuk plastis dari beton aspal padat akibat adanya beban sampai batas keruntuhan.

- d. Perhitungan kuosien Marshall, adalah perbandingan antara nilai stabilitas dan flow.
- e. Perhitungan berbagai jenis volume pori dalam beton aspal padat (VIM, VMA, dan VFA).
- f. Tebal film atau selimut aspal.

Pengujian kinerja beton aspal padat dilakukan melalui pengujian Marshall, yang dikembangkan pertama kali oleh Bruce Marshall dan dilanjutkan oleh *U.S Corps Engineer*.

Alat Marshall merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan *proving ring* (cincin penguji) berkapasitas 22,2 kN (=5000 lbf) dan *flowmeter*. *Profing ring* digunakan untuk mengukur nilai stabilitas, dan *flowmeter* untuk mengukur kekelahan plastis dan *flow*.

Jadi, dari keenam butir pengujian yang umum dilakukan untuk menentukan kinerja beton aspal, terlihat bahwa hanya nilai stabilitas dan *flow* yang ditentukan dengan mempergunakan alat Marshall, sedangkan parameter lainnya ditentukan melalui penimbangan benda uji, dan perhitungan. Walaupun demikian, secara umum telah dikenali bahwa pengujian Marshall meliputi pengujian enam butir di atas. Secara garis besar pengujian Marshall meliputi :

1. Penentuan berat jenis *bulk* dari benda uji.
2. Pemeriksaan nilai stabilitas dan *flow*.
3. Perhitungan sifat *volumetric* benda uji. (*Sukirman, 2003*).

2.6 Plastik

Plastik adalah senyawa polimer yang terbentuk dari polimerisasi molekul-molekul kecil (monomer) hidrokarbon yang membentuk rantai yang panjang dengan struktur yang kaku. Struktur dasar penyusun kimia plastik merupakan ikatan kavolen yaitu ikatan antar atom dengan cara berbagai elektron, plastik merupakan bagian dari molekul hydrocarbon, zat penyusun dasarnya merupakan zat carbon dan hydrogen. Contoh dari ikatan kavolen yaitu : ikatan tunggal C-C, dan ikatan ganda C=C atau ikatan rangkap 3C carbon memiliki kemampuan membentuk ikatan seperti rantai yang panjang seperti oktane : CH₃-CH₂-CH₂-CH₂-CH₂-CH₂-CH₂-

CH₂-CH₂-CH₃. Plastik yang memiliki struktur atau komposisi yang sederhana adalah PE (*polyethylene*), umumnya susunan molekul PE terdiri dari 1000 atom carbon. Bagian terkecil dari rantai carbon yang panjang disebut mer atau monomer sering dirumuskan seperti berikut: $-\text{[CH}_2\text{-CH}_2\text{]}_n-$, dimana n merupakan jumlah atau derajat dari polimerisasi, polimer berarti penggabungan dari beberapa monomer dan akhirnya menjadi satu dan membentuk polimer. Sekarang ini terdapat ribuan jenis plastik tetapi pada dasarnya atom-atom penyusun plastik adalah Carbon (C), dan hidrogen (H) dan beberapa tambahan atom Oxigen (O), Nitrogen (N), Clour (CL), flour (F) dan belerang (S). Istilah plastik dan polimer seringkali dipakai secara sinonim. Namun tidak berarti semua polimer adalah plastik. Plastik merupakan polimer yang dapat dicetak menjadi berbagai bentuk yang berbeda. Plastik dapat digolongkan berdasarkan :

1. Sifat Fisiknya yaitu :

- a) Termoplastik adalah polimer yang mempunyai sifat tidak tahan terhadap panas. Jika polimer jenis ini dipanaskan maka menjadi lunak dan didinginkan akan mengeras. Plastik ini memiliki sifat khusus antara lain :
- Berat molekul kecil
 - Tidak tahan terhadap panas
 - Jika dipanaskan akan melunak
 - Jika didinginkan akan mengeras
 - Mudah untuk diregangkan
 - Fleksibel
 - Titik leleh rendah
 - Dapat dibentuk ulang (daur ulang)

Yang termasuk termoplastik adalah sebagai berikut :

1. Polyethylene (PE)

Contoh : botol plastik, mainan, bahancetakan, ember, drum, pipa saluran, isolasi kawat dan kabel, kantong plastik dan jas hujan.

2. Poliviniklorida (PVC)

Contoh : pipa air, pipa plastik, pipa kabel listrik, kulit sintetis, ubin plastik, piringan hitam, bungkus makanan, sol sepatu, sarung tangan dan botol detergen.

3. Polipropena (PP)

Contoh : karung, tali, botol minuman, serat, bak air, insulator, kursi plastik, alat-alat rumah sakit, komponen mesin cuci, pembungkus tekstil dan permadani.

4. Polistirena

Contoh : insulator, sol sepatu, penggaris, gantungan baju, dll.

b) Termosetting, adalah polimer yang mempunyai sifat tahan terhadap panas.

Jika polimer ini dipanaskan, maka tidak dapat meleleh. Sehingga tidak dapat dibentuk ulang kembali. Plastik ini memiliki sifat antara lain :

- Keras dan kaku (tidak fleksibel)
- Jika dipanaskan akan mengeras
- Tidak dapat didaur ulang
- Tidak dapat larut pada pelarut apapun
- Tahan terhadap asam dan basa
- Mempunyai ikatan silang antar molekul

Contoh plastik termosetting adalah bakelit atau asbak, fitting lampu listrik, steker listrik, peralatan fotografi, radio dan perekat *plywood*

2. Kinerja dan Penggunaannya

a) Plastik Komoditas, sifatnya antara lain :

- Sifat mekanik tidak terlalu bagus
- Tidak tahan panas

Contohnya: PE, PS, ABS, PMMA, SAN

Aplikasi: barang-barang elektronik, pembungkus makanan, botol minuman.

b) Plastik teknik, sifatnya antara lain :

- Tahan terhadap suhu 100°C
- Sifat mekanik bagus

Contohnya: PA, POM, PC, PBT

Aplikasi: komponen otomotif dan elektronik

c) Plastik teknik khusus, sifatnya antara lain:

- Temperatur operasi diatas 150°C
- Sifat mekanik bagus (kekuatan tarik diatas 500 kgf/cm²)

Contohnya: PSF, PES, PAI, PAR

Aplikasi : komponen pesawat

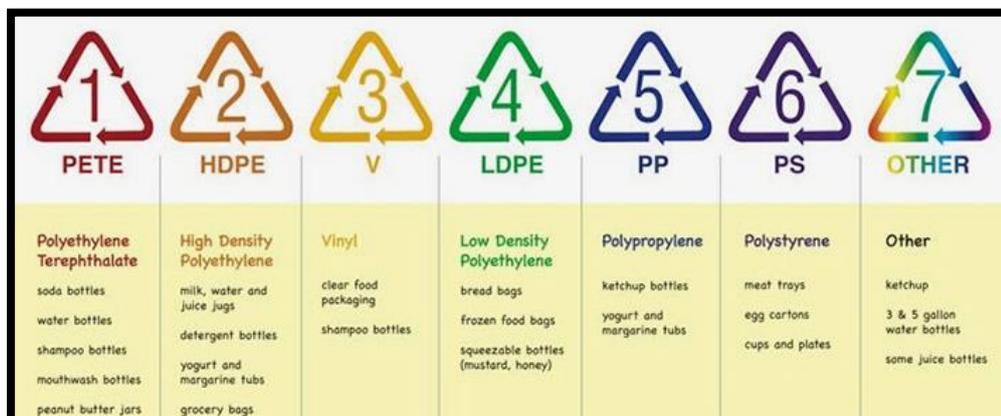
3. Berdasarkan Jumlah Rantai Karbonnya

- 1 - 4 Gas (LPG, LNG)
- 5 - 11 Cair (bensin)
- 9 - 16 Cairan dengan viskositas rendah
- 16 - 25 Cairan dengan viskositas tinggi (oli, gemuk)
- 25 - 30 Padat (parafin, lilin)
- 1000 - 3000 Plastik (polistiren, polietilen, dan lainnya.)

(*Wikipedia, Ensklopedia bebas*)

Perlu kita ketahui bersama bahwa secara internasional telah diatur kode untuk kemasan plastik, yang mungkin bagi kita yang awam sangat perlu untuk diketahui, karena tanda tersebut berkaitan dengan jenis bahan serta cara dan dampak pemanfaatannya bagi manusia. Kode ini dikeluarkan oleh *The Society of Plastic Industry* pada tahun 1988 di Amerika Serikat dan diadopsi pula oleh lembaga-lembaga yang mengembangkan sistem kode, seperti ISO (*International Organization for Standardization*).

Gambar 2.11 Simbol Jenis-Jenis Plastik



(Sumber : Google Image, 2018 Simbol-Simbol Jenis Plastik)

Secara umum tanda tersebut berada di dasar, berbentuk segi tiga, di dalam segitiga terdapat angka, serta nama jenis plastik di bawah segitiga, dengan contoh dan penjelasan sebagai berikut :

1. **PETE/PET (*Polyethylene Terephthalate*)**

Tanda ini biasanya tertera logo daur ulang dengan angka 1 di tengahnya serta tulisan PETE atau PET (*Polyethylene Terephthalate*) di bawah segitiga. Biasa dipakai untuk botol plastik berwarna jernih, tembus pandang/transparan seperti botol air mineral, botol minuman, botol jus, botol minyak goreng, botol kecap, botol sambal, dan hampir semua botol minuman lainnya. Untuk pertekstil, PET digunakan untuk bahan serat sintetis atau lebih dikenal dengan polyester PETE/PET direkomendasikan hanya untuk sekali pakai. Penggunaan berulang kali terutama pada kondisi panas dapat menyebabkan melelehnya lapisan polimer dan keluarnya zat *karsinogenik* dari bahan plastik tersebut, sehingga dapat menyebabkan kanker untuk penggunaan jangka panjang. Untuk lambang atau simbol pada plastik jenis ini dapat dilihat pada **gambar 2.15**.

2. **HDPE (*High Density Polyethylene*)**

Pada bagian bawah kemasan botol plastik, tertera logo daur ulang dengan angka 2 ditengahnya, serta tulisan HDPE (*high density polyethylene*) di bawah segitiga. Jenis ini memiliki sifat bahan yang lebih kuat, keras, buram dan lebih tahan

terhadap suhu tinggi. HDPE biasa dipakai untuk botol kosmetik, botol obat, botol minuman, botol susu yang berwarna putih susu, *tupperware*, galon air minum, kursi lipat, dan jerigen pelumas dan lain-lain. Walaupun demikian sama seperti PET, HDPE juga direkomendasikan hanya untuk satu kali pakai, karena pelepasan senyawa *antimoni trioksida* terus meningkat seiring waktu. Bahan HDPE bila ditekan tidak kembali ke bentuk semula. Untuk lambang atau simbol pada plastik jenis ini dapat dilihat pada **gambar 2.15**.

3. PVC (*Polyvinyl Chloride*)

Tertulis (terkadang berwarna merah) dengan angka 3 di tengahnya, serta tulisan V di bawah segitiga. V itu berarti PVC (*polyvinyl chloride*), yaitu jenis plastik yang paling sulit didaur ulang. Jenis plastik PVC ini bisa ditemukan pada plastik pembungkus (*cling wrap*), untuk mainan, selang, pipa bangunan, taplak meja plastik, botol kecap, botol sambal, botol sampo dll. PVC mengandung DEHA yang berbahaya bagi kesehatan. Makanan yang dikemas dengan plastik berbahan dapat terkontaminasi karena DEHA lumer pada suhu -15°C . Reaksi yang terjadi antara PVC dengan makanan yang dikemas dengan plastik ini berpotensi berbahaya untuk ginjal, hati dan berat badan. Untuk lambang atau simbol pada plastik jenis ini dapat dilihat pada **gambar 2.15**.

4. LDPE (*Low Density Polyethylene*)

Logo daur ulang dengan angka 4 di tengahnya, serta tulisan LDPE di bawah segitiga. LDPE (*low density polyethylene*), yaitu plastik tipe cokelat (*thermoplastic*/dibuat dari minyak bumi). LDPE banyak dipakai untuk tutup plastik, kantong/tas kresek dan plastik tipis lainnya. Sifat mekanis jenis LDPE ini adalah kuat, tembus pandang, Fleksibel dan permukaan agak berlemak, pada suhu 60 derajat sangat resisten terhadap reaksi kimia, daya proteksi terhadap uap air tergolong baik, dapat didaur ulang serta baik untuk barang-barang yang memerlukan fleksibilitas tapi kuat. Walaupun baik untuk tempat makanan, barang berbahan LDPE ini sulit dihancurkan. Selain itu pada suhu di bawah 60°C sangat resisten terhadap senyawa kimia. Barang berbahan LDPE ini sulit dihancurkan,

tetapi tetap baik untuk tempat makanan karena sulit bereaksi secara kimiawi dengan makanan yang dikemas dengan bahan ini. Untuk lambang atau simbol pada plastik jenis ini dapat dilihat pada **gambar 2.15**.

5. PP (*Polypropylene*)

Tertera logo daur ulang dengan angka 5 di tengahnya, serta tulisan PP di bawah segitiga. Karakteristik adalah biasa botol transparan yang tidak jernih atau berawan. Jenis ini adalah pilihan bahan plastik terbaik, terutama untuk tempat makanan dan minuman seperti tempat menyimpan makanan, tutup botol, cup plastik, mainan anak, botol minum dan terpenting botol minum untuk bayi. *Polipropilen* lebih kuat dan ringan dengan daya tembus uap yang rendah, ketahanan yang baik terhadap lemak, stabil terhadap suhu tinggi dan cukup mengkilap. Bahan yang terbuat dari PP bila ditekan akan kembali ke bentuk semula. Carilah dengan kode angka 5 bila membeli barang berbahan plastik untuk menyimpan kemasan berbagai makanan dan minuman. Untuk lambang atau simbol pada plastik jenis ini dapat dilihat pada **gambar 2.15**.

6. PS (*Polystyrene*)

Tertera logo daur ulang dengan angka 6 di tengahnya, serta tulisan PS di bawah segitiga. Biasanya dipakai sebagai bahan tempat makan styrofoam, tempat minum sekali pakai seperti sendok, garpu gelas, dan lain-lain. *Polystyrene* merupakan polimer aromatik yang dapat mengeluarkan bahan styrene ke dalam makanan ketika makanan tersebut bersentuhan. Bahan ini harus dihindari, karena selain berbahaya untuk kesehatan otak, mengganggu hormon estrogen pada wanita yang berakibat pada masalah reproduksi, dan pertumbuhan dan sistem syaraf, selain itu bahan ini sulit didaur ulang. Pun bila didaur ulang, bahan ini memerlukan proses yang sangat panjang dan lama. Bahan ini dapat dikenali dengan kode angka 6, namun bila tidak tertera kode angka tersebut pada kemasan plastik, bahan ini dapat dikenali dengan cara dibakar (cara terakhir dan sebaiknya dihindari). Ketika dibakar, bahan ini akan mengeluarkan api berwarna kuning-jingga, dan meninggalkan jelaga. Banyak negara bagian di Amerika sudah melarang pemakaian

tempat makanan berbahan *styrofoam* termasuk negara China. Untuk lambang atau simbol pada plastik jenis ini dapat dilihat pada **gambar 2.15**

7. OTHER

Tertera logo daur ulang dengan angka 7 di tengahnya, serta tulisan OTHER di bawah segitiga. Untuk jenis plastik 7 Other ini terdapat 4 macam, yaitu : SAN (*styrene acrylonitrile*), ABS (*acrylonitrile butadiene styrene*), PC (*polycarbonate*), dan Nylon. SAN dan ABS memiliki resistensi yang tinggi terhadap reaksi kimia dan suhu, kekuatan, kekakuan, dan tingkat kekerasan yang telah ditingkatkan sehingga merupakan salah satu bahan plastik yang sangat baik untuk digunakan dalam kemasan makanan ataupun minuman. Biasanya terdapat pada mangkuk mixer, pembungkus termos, piring, alat makan, penyaring kopi, dan sikat gigi, sedangkan ABS biasanya digunakan sebagai bahan mainan lego dan pipa. PC atau Polycarbonate dapat ditemukan pada botol susu bayi, gelas anak batita (*sippy cup*), botol minum *polikarbonat*, dan kaleng kemasan makanan dan minuman, termasuk kaleng susu formula. Dapat mengeluarkan bahan utamanya yaitu *Bisphenol-A* ke dalam makanan dan minuman yang berbahaya bagi kesehatan sehingga dianjurkan untuk tidak digunakan sebagai tempat makanan ataupun minuman. Ironisnya banyak botol susu yang terbuat dari PC dan sangat mungkin mengalami proses pemanasan untuk tujuan sterilisasi dengan cara panas.

2.7 Persamaan Sifat Dan Unsur Plastik Dan Aspal

Plastik dan aspal pada dasarnya memiliki kesamaan sifat yakni bersifat termoplastis yang artinya plastik atau aspal akan mencair jika dipanaskan sampai temperatur tertentu, dan kembali membeku jika temperatur turun. Selain itu juga unsur penyusun pada plastik dan aspal juga memiliki kesamaan sehingga plastik dapat diasumsikan bahan tambah aspal ataupun bahan substitusi sebagian aspal.

Tabel 2.8 Kesamaan Unsur Penyusun Pada Plastik Dan Aspal

Nama Unsur	Plastik	Aspal
Karbon (C)	Ada	Ada
Hidrogen (H)	Ada	Ada
Sulfur (S)	Ada	Ada
Oksigen (O)	Ada	Ada
Nitrogen (N)	Ada	Ada
Klor (Cl)	Ada	Tidak Ada
Flour (F)	Ada	Tidak Ada

(Sumber : *astalog.com* dan *blog.umy.ac.id*)

2.8 Sifat Plastik HDPE (*High Density Polyethylene*)

HDPE (*High Density Polyethylene*) berdensitas tinggi adalah termoplastik yang terbuat dari minyak bumi. Untuk membuat 1 kg plastik HDPE membutuhkan 1,75 kg minyak bumi sebagai bahan baku. HDPE memiliki kekuatan tensil dan gaya antar molekul yang tinggi serta lebih keras dan dapat bertahan pada temperatur yang tinggi (120°C). HDPE bisa diproduksi dengan katalis *chromium/silica*, katalis *zieger-Natta*, atau katalis *Mertallocena*. HDPE digunakan sebagai bahan pembuat botol susu, botol kemasan detergen, kemasan margarin, pipa air dan tempat sampah (Yogi, 2010).

Dalam Yogi, 2010 sifat-sifat dari plastik HDPE adalah sebagai berikut :

- a) High density, dimana berat jenis HDPE ini adalah tertinggi dikelompok Polyethilene yaitu $0,96 \text{ g/cm}^3$ dan melt flow yang dihasilkan juga besar yaitu 0,28 g/10 menit.
- b) High temperature resistance, karena temperatur leleh dari HDPE cukup tinggi yaitu 130°C sehingga tahan terhadap panas.
- c) Chemical resistance, HDPE termasuk plastik yang tahan terhadap berbagai macam zat kimia, sehingga banyak sekali dalam pembuatan kemasan untuk bahan kimia atau yang mengandung unsur kimia menggunakan HDPE
- d) Excellent dimensional stability, yaitu mampu dibentuk dan tidak akan mengalami perubahan bentuk setelah selesai dibentuk

- e) High glass or matte, memiliki permukaan yang halus sehingga tidak perlu adanya finishing pada permukaan setelah dibuat suatu produk.