

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Lapis Aspal Beton adalah lapisan penutup konstruksi perkerasan jalan yang mempunyai nilai struktural yang 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 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 dapat 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.

Berdasarkan fungsinya beton aspal dapat dibedakan atas:

1. 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.
2. 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.
3. Beton aspal untuk pembentuk dan perata lapisan beton aspal yang sudah lama, yang pada umumnya sudah aus dan seringkali tidak berbentuk *crowm*.

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:

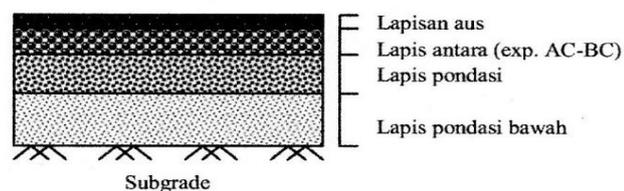
1. Laston (Lapisan Aspal Beton), adalah beton aspal bergradasi menerus yang umum digunakan untuk jalan-jalan dengan beban lalu lintas berat. Laston dikenal pula dengan nama AC (*Asphalt Concrete*). Karakteristik beton aspal

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 nominal minimum AC-BC adalah 6 cm.
 - c. Laston sebagai lapisan pondasi, dikenal dengan nama AC-Base (*Asphalt Concrete- Base*). Tebal nominal minimum AC-Base adalah 7,5 cm.
2. Lataston (Lapisan Tipis Aspal Beton), adalah beton aspal bergradasi senjang. Lataston biasa pula disebut dengan HRS (*Hot Rolled Sheet*).
 3. Latasir (Lapisan Tipis Aspal Pasir), adalah beton aspal unuk jalan-jalan dengan lalu lintas ringan, khususnya dimana agregat kasar tidak atau sulit diperoleh.
 4. 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

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

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).

2.3.3.1 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 Bina 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 dan magnesium sulfat		SNI 3470:2008	Maks. 12%
Abrasi dengan mesin <i>Los Angeles</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>DoT's Pennsylvania Test Method, PTM No.621</i>	95/90*
<i>Angularitas</i> (kedalaman dari permukaan \geq 10 cm)			80/75*
Partikel Piipih 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.

2.3.3.2 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.



Gambar 2.3 Agregat Halus

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 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.

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.

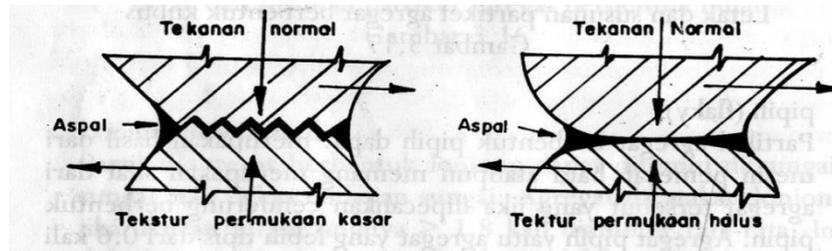
5. Tak beraturan (*irregular*)

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 2.4 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 2.5 Bentuk-Bentuk Agregat

Sumber: Modul Teknologi Bahan Konstruksi Universitas Mercu Buana

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 (inchi)	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*. Agregat dapat ditentukan termasuk pada agregat bergradasi baik atau buruk dengan cara diperiksa dengan mempergunakan rumus *fuller*:

Rumus *Fuller*:

$$P = 100 \left(\frac{d}{D} \right)^{0.45} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana:

P = persen lolos saringan dengan bukaan saringan, mm.

d = ukuran agregat yang diperiksa, mm.

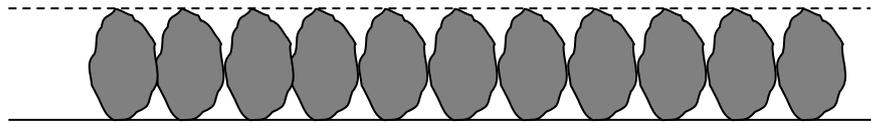
D = ukuran maksimum agregat yang terdapat dalam campuran, mm.

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.



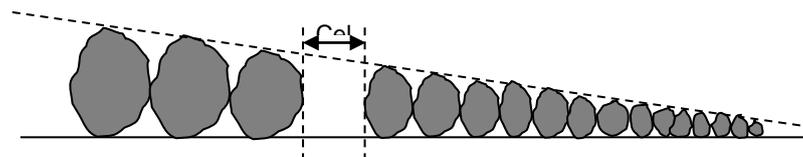
Gambar 2.6 Gradasi Seragam

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 2.7 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 dipetengahan saringan (2,36 mm) dan ukuran saringan terkecil (0,075 mm).

Tabel 2.5 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 20

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 2.5.

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)



Gambar 2.8 Aspal

2.4.1 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, 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)

Tabel 2.7 Ketentuan-Ketentuan untuk Aspal Keras

No	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Tipe 1 Aspal Pen 60- 70	Tipe II Aspal Yang Dimodifikasi		
				A	B	C
				Asbuton Yang Di Proses	Elastomer Alam (Latex)	Elastomer Sintesis
1.	Penetrasi Pada 25°C (mm)	SNI 06-2456-1991	60-70	40-55	50-70	Min.40
2.	Visikotas 135°C	SNI 06-6441-2000	385	385-2000	≤2000	≤3000
3.	Titik Lembek (°C)	SNI 06-2434-1991	≥48	-	-	≥54
4.	Indeks Penetrasi	-	≥-1,0	≥-0,5	≥0,0	≥0,4
5.	Daktilitas Pada 25°C (Cm)	SNI 06-2432-1991	≥100	≥100	≥100	≥100
6.	Titik Nyala (°C)	SNI 06-2433-1991	≥232	≥232	≥232	≥232
7.	Kelarutan Dalam Toluene (%)	ASTM-D5546	≥99	≥90	≥99	≥99
8.	Berat Jenis	SNI 06-2441-1991	≥1,0	≥1,0	≥1,0	≥1,0
9.	Stabilitas Penyimpanan (°C)	ASTM D 5976 part 6.1	-	≤2,2	≤2,2	≤2,2
Pengujian Residu hasil TFOT atau RTFOT :						
10.	Berat yang Hilang (%)	SNI 06-6441-1991	≤0,8	≤0,8	≤0,8	≤0,8
11.	Penetrasi Pada 25°C (%)	SNI 06-2456-1991	≥54	≥54	≥54	≥54
12.	Indeks Penetrasi	-	≥-1,0	≥0,0	≥0,0	≥0,4
13.	Keelastisan Setelah Pengembalian (%)	AASHTO 301-98	-	-	≥45	≥60
14.	Daktilitas Pada 25°C (Cm)	SNI 06-2432-1991	≥100	≥50	≥50	-
15.	Partikel yang Lebih Halus Dari 150 Micron (jam) (%)	-	-	Min.95	Min.95	Min.95

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

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*).

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:

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 fan 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.
4. Kadar paraffin dalam aspal tidak melebihi 2 %.

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 asam, merupakan aspal emulsi yang bermuatan arus listrik negatif.
3. Anionik 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 (A₁)
4. Acidaffin II (A₂)
5. Paraffins (P)

Komposisi aspal :

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

(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.

2.2.4.1 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 2.9 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, 1995).



(a) Cincin dan bola baja



(b) gelas ukur



(c) termometer

Gambar 2.10 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, 1995).



Gambar 2.11 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, 1995).



(a) Penarik aspal



(b) Cetakan aspal

Gambar 2.12 Alat Pengujian Daktilitas Aspal

e. Pemeriksaan Kehilangan Berat Aspal.

Pemeriksaan dilakukan untuk mengetahui pengurangan berat akibat penguapan bahan-bahan yang mudah menguap dalam aspal. 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. Pemeriksaan mengikuti prosedur SNI 06–2441–1991. Penurunan berat yang besar menunjukkan banyaknya bahan-bahan yang hilang karena penguapan. Aspal tersebut akan cepat mengeras dan menjadi rapuh. Pemeriksaan dapat dilanjutkan dengan menentukan penetrasi atau visikotas aspal dari contoh aspal yang telah mengalami pemanasan (Sukirman, 1995).



Gambar 2.13 Oven Pengujian Kehilangan Berat Aspal

f. 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° C. Prosedur pemeriksaan mengikuti SNI 06-2441-1991.

$$\text{Berat jenis aspal} = \frac{(C-A)}{[(B-A)-(D-C)]}$$

Dimana :

A = Berat piknometer dengan penutup

B = Berat piknometer berisi air

C = Berat piknometer berisi aspal

D = Berat piknometer berisi aspal dan air

Berat jenis aspal diperlukan untuk perhitungan dalam analisa campuran (Sukirman, 1995).



Gambar 2.14 Cawan Pengujian Berat Jenis Aspal

2.4.5 Karakteristik Campuran

Beton aspal dibentuk dari agregat, aspal dan atau tanpa bahan-bahan, yang dicampur secara merata atau homogen di instalasi pencampuran pada suhu tertentu. Campuran kemudian dihamparkan, dipadatkan, sehingga berbentuk beton aspal padat. Secara analitis, dapat ditentukan sifat *volumetric* dari aspal beton, baik yang dipadatkan di laboratorium, maupun di lapangan. Parameter yang biasanya digunakan adalah :

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

Berat Jenis *Bulk* dari Beton Aspal Padat ($=G_{mb}$) dapat diukur dengan mempergunakan hukum Archimedes, yaitu :

$$G_{mb} = \frac{\text{berat benda uji kering}}{\text{berat benda uji kering permukaan jenuh} - \text{berat benda uji dalam air}}$$

Catatan : untuk keperluan praktis nilai ini adalah juga berat isi campuran

2. Berat Jenis Maksimum Beton Aspal yang Belum Dipadatkan (G_{mm})

Berat jenis maksimum dari campuran beton aspal yang belum dipadatkan ($=G_{mm}$) adalah berat jenis campuran beton aspal tanpa ada udara, yang diperoleh dari pemeriksaan di laboratorium.

$$G_{mm} = \frac{100}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}}$$

Dimana:

- G_{mm} = berat jenis maksimum campuran
- P_b = jumlah aspal, % terhadap total berat campuran
- P_s = jumlah agregat, % terhadap total berat campuran
- G_b = berat jenis aspal
- G_{se} = berat jenis efektif agregat

3. Perhitungan Jumlah Kadar Aspal yang Terserap

$$P_{ba} = 100 \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb} \cdot G_{se}} G_b$$

Dimana:

- P_{ba} = aspal yang terserap, % berat terhadap berat agregat
- G_{se} = berat spesifik agregat
- G_{sb} = berat jenis bulk agregat
- G_b = berat spesifik aspal

4. Perhitungan Efektif Jumlah Aspal Dalam Campuran

$$P_{be} = P_b \frac{P_{ba}}{100} P_s$$

Dimana :

- P_{be} = jumlah aspal efektif, % terhadap total berat campuran
- P_b = jumlah aspal, % terhadap total berat campuran
- P_{ba} = aspal yang diserap, % berat terhadap berat agregat
- P_s = jumlah agregat, % terhadap total berat campuran

5. Volume Pori dalam Agregat Campuran (VMA)

Volume pori dalam agregat campuran (VMA = *Voids in the mineral aggregate*), adalah banyaknya pori diantara butir-butir agregat di dalam beton aspal padat, dinyatakan dalam persentase.

Jika komposisi campuran ditentukan berdasarkan Berat Total Campuran

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb} \cdot P_s}{G_{sb}}$$

Dimana :

- G_{mb} = berat jenis bulk campuran
- P_s = jumlah agregat, % terhadap total berat campuran
- G_{sb} = berat jenis efektif agregat

Jika komposisi campuran ditentukan sebagai persentase dari berat total agregat.

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb}}{G_{sb}} \times \frac{100}{100 + P_{as}} 100$$

Dimana:

- VMA = volume pori antara agregat di dalam beton aspal padat, % dari volume bulk beton aspal padat
- G_{mb} = berat jenis bulk campuran
- P_{as} = jumlah aspal, % berat terhadap total berat campuran
- G_{sb} = berat jenis efektif agregat

6. Volume Pori dalam Beton Aspal Padat (VIM)

Banyaknya pori yang berada dalam beton aspal padat (=VIM) adalah banyaknya

pori diantara butir-butir agregat yang diselimuti aspal. VIM dinyatakan dalam persentase terhadap volume beton aspal padat. Dasar perhitungan berdasarkan volume beton aspal padat = 100 cm³.

$$VIM = \left(100 \times \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \right)$$

Dimana:

- G_{mm} = berat jenis maksimum campuran
- G_{mb} = berat jenis bulk campuran

7. Volume Pori Antara Butir Agregat Terisi Aspal (VFA)

Banyaknya pori-pori antara butir agregat (=VMA) di dalam beton aspal padat, yang terisi oleh aspal, dinyatakan sebagai VMA. Persentase pori antara butir agregat yang terisi aspal dinamakan VFA. Jadi, VFA adalah bagian dari VMA yang terisi oleh aspal, tidak termasuk di dalamnya aspal yang terabsorpsi oleh masing-masing butir agregat. Dengan demikian, aspal yang mengisi VFA inilah yang merupakan persentase volume beton aspal padat yang menjadi film atau selimut aspal. Dasar perhitungan dilakukan berdasarkan volume beton aspal padat = 100 cm³.

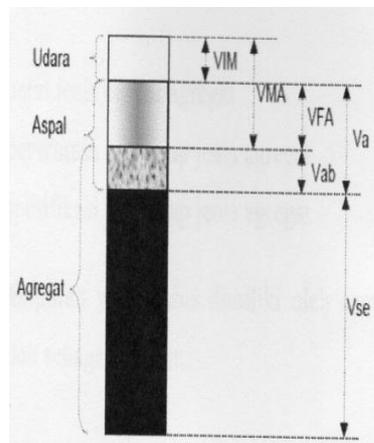
$$VFA = \frac{100 (VMA - VIM)}{VMA}$$

Dimana:

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

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

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



Gambar 2.15 Skematis Berbagai Jenis Volume Beton Aspal
(Sumber : Sukirman, 2003)

8. Berat Jenis Bulk Agregat Campuran (G_{sb})

Agregat yang digunakan untuk membentuk beton aspal padat, memiliki gradasi tertentu yang biasanya diperoleh dari pencampuran beberapa fraksi agregat yang tersedia di lokasi. Masing-masing agregat mempunyai berat jenis yang berbeda, sehingga untuk menghitung berat beton aspal padat dibutuhkan

dibutuhkan berat jenis agregat campuran.

$$G_{sb} = \frac{100}{\left(\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}\right)}$$

Jika :

P_1, P_2, \dots, P_n	= persentase berat tiap jenis agregat
G_{sb}	= berat jenis bulk agregat campuran
G_1, G_2, \dots, G_n	= spesifikasi berat tiap jenis agregat

9. Jika Jenis Berat Efektif Agregat Campuran (G_{se})

Berat jenis maksimum dari beton aspal yang belum dipadatkan, G_{mm} , dapat ditentukan di laboratorium. Dasar perhitungan dilakukan berdasarkan berat beton aspal belum dipadatkan = 100 gram.

Jadi :

$$G_{se} = \frac{100}{\left(\frac{P_1}{G_{e1}} + \frac{P_2}{G_{e2}} + \dots + \frac{P_n}{G_{en}}\right)}$$

Dimana :

P_1, P_2, \dots, P_n	= persentase berat tiap jenis agregat
G_{se}	= berat jenis efektif agregat
G_1, G_2, \dots, G_n	= spesifikasi berat tiap jenis agregat

Karakteristik campuran yang harus dimiliki oleh campuran aspal beton campuran panas adalah sebagai berikut :

1. Stabilitas

Stabilitas lapisan pekerjaan jalan adalah kemampuan lapisan perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti glombang, alur ataupun bleeding. Kebutuhan akan stabilitas setingkat dengan jumlah lalu lintas dan beban kendaraan yang akan memakai jalan tersebut. Jalan dengan volume lalu lintas dan sebagian besar merupakan kendaraan berat menurut stabilitas yang lebih besar dibandingkan dengan jalan yang volume lalu lintasnya hanya terdiri dari kendaraan penumpang saja. Kestabilan yang terlalu tinggi menyebabkan lapisan itu menjadi kaku dan cepat mengalami retak, disamping itu karena volume antar agregat kurang maka kadar aspal yang dibutuhkan pun rendah. Hal ini menghasilkan ikatan aspal mudah lepas sehingga durabilitasnya rendah. Stabilitas terjadi dari hasil geseran antar butir, penguncian antar partikel dan daya ikat yang baik dari lapisan aspal.

Agregat dengan gradasi baik, atau bergradasi rapat akan memberikan rongga antar butir agregat (*voids in mineral aggregate* yang kecil menghasilkan stabilitas yang tinggi, tetapi membutuhkan kadar aspal yang rendah untuk mengikat agregat. *Voids in mineral aggregate* (VMA) yang kecil mengakibatkan aspal yang dapat menyelimuti agregat terbatas dan menghasilkan film aspal yang tipis. Film aspal yang tipis mudah lepas yang mengakibatkan lapis tidak lagi kedap air, oksidasi mudah terjadi, dan lapis perkerasan menjadi rusa. Pemakaian aspal yang banyak mengakibatkan aspal tidak lagi dapat menyelimuti agregat dengan baik (karena VMA kecil) dan juga menghasilkan rongga antar campuran (*voids in mix* = VIM) yang kecil. Adanya beban lalu lintas yang menambah pemadatan lapisan mengakibatkan lapisan aspal meleleh keluar yang disebut *bleeding*

2. Durabilitas (keawetan/daya tahan)

Durabilitas diperlukan pada lapisan permukaan sehingga lapisan dapat mampu menahan keausan akibat pengaruh cuaca, air dan perubahan suhu ataupun lapis aspal beton adalah :

- a. VIM kecil sehingga lapis kedap air dan udara tidak masuk ke dalam campuran yang menyebabkan terjadinya oksidasi dan aspal menjadi rapuh (getas).
- b. VMA besar sehingga film aspal dapat dibuat tebal. Jika VMA dan VIM kecil serta kadar aspal tinggi maka kemungkinan terjadinya *bleeding* cukup besar. Untuk mencapai VMA yang besar ini dipergunakan agregat bergradasi senjang.
- c. Film (selimut) aspal, film aspal yang tebal dapat menghasilkan lapis aspal beton yang berdurabilitas tinggi, tetapi kemungkinan terjadinya *bleeding* menjadi besar.

3. Fleksibilitas (Kelenturan)

Fleksibilitas pada lapisan perkerasan adalah kemampuan lapisan perkerasan untuk dapat mengikuti deformasi yang terjadi akibat beban lalu lintas yang berulang tanpa timbulnya retak dan perubahan volume. Untuk mendapatkan fleksibilitas yang tinggi dapat diperoleh dengan :

- a. Penggunaan agregat bergradasi senjang sehingga diperoleh VMA yang besar.

- b. Penggunaan aspal lunak (aspal dengan penetrasi tinggi)
- c. Penggunaan aspal yang cukup banyak sehingga diperoleh VIM yang kecil.

4. *Skid Resistance* (Kekesatan)

Tahanan geser adalah kekesatan yang diberikan oleh perkerasan sehingga kendaraan tidak mengalami slip baik di waktu hujan (basah) maupun di waktu kering. Kekesatan dinyatakan dengan koefisien gesek antara permukaan jalan dengan roda kendaraan. Tingginya nilai tahanan geser ini dipengaruhi oleh:

Penggunaan agregat dengan permukaan kasar

- a. Penggunaan kadar aspal yang tepat sehingga tidak terjadi *bleeding*.
- b. Penggunaan agregat berbentuk kubus,
- c. Penggunaan agregat kasar yang cukup.

5. *Fatigue Resistance* (ketahanan kelelahan)

Ketahanan kelelahan adalah ketahanan dari lapis aspal beton dalam menerima beban berulang tanpa terjadinya kelelahan yang berupa alur (*rutting*) dan retak. Faktor-faktor yang mempengaruhi ketahanan terhadap kelelahan adalah:

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

6. *Workability* (kemudahan pelaksanaan)

Kemudahan pelaksanaan adalah mudahnya suatu campuran untuk dihampar dan dipadatkan sehingga diperoleh hasil yang memenuhi kepadatan yang diharapkan. *Workability* ini dipengaruhi oleh :

- a. Gradasi agregat. agregat bergradasi baik lebih mudah dilaksanakan daripada agregat bergradasi lain.
- b. Temperatur campuran yang ikut mempengaruhi kekerasan bahan pengikat yang bersifat termoplastis.
- c. Kandungan bahan pengisi (*filler*) yang tinggi menyebabkan pelaksanaan lebih sulit.

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 volumr pori dalam beton aspal padat (VIM, VMA, dan VFA).
- f. Perhitungan tebal selimut atau film 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*. *Proving ring* digunakan untuk mengukur nilai stabilitas, dan *flowmeter* untuk mengukur kelelahan 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. Persiapan benda uji.
2. Penentuan berat jenis *bulk* dari benda uji.
3. Pemeriksaan nilai stabilitas dan *flow*.
4. Perhitungan sifat *volumetric* benda uji.

(Sukirman, 2003).

2.5.2 Batu kapur (*Limestone*)

Batu kapur merupakan salah satu mineral industri yang banyak digunakan oleh sektor industri ataupun konstruksi, antara lain untuk bahan bangunan, batu bangunan bahan penstabil jalan raya, pengapuran, dan lain-lain. Batu kapur (Gamping) dapat terjadi dengan beberapa cara, yaitu secara organik, secara mekanik, atau secara kimia. Sebagian besar batu kapur yang terdapat di alam terjadi secara organik, jenis ini berasal dari pengendapan cangkang/rumah kerang dan siput, foraminifera atau ganggang, atau berasal dari kerangka binatang koral/kerang. Batuan kapur atau batuan gamping (limestone) termasuk batuan sedimen. Batuan sedimen sering pula disebut dengan batuan endapan. Batuan ini berwarna putih, kelabu, atau warna lain yang terdiri dari kalsium karbonat (CaCO_3).



Gambar 2.16 Batu Kapur

Mineral karbonat yang umum ditemukan berasosiasi dengan batu kapur adalah aragonit (CaCO_3), yang merupakan mineral *metastable* karena pada kurun waktu tertentu dapat berubah menjadi kalsit (CaCO_3). Mineral lainnya yang umum ditemukan berasosiasi dengan batu kapur atau dolomit, tetapi dalam jumlah kecil adalah siderite (FeCO_3), ankerit ($\text{Ca}_2\text{MgFe}(\text{CO}_3)_4$), dan magnesit (MgCO_3).

Batu kapur membentuk 10% dari seluruh volume batuan sedimen. Batu Kapur dapat terjadi dengan beberapa cara yaitu secara organik secara mekanik atau secara kimia sebagian batu kapur di alam terjadi secara organik. Jenis ini berasal dari pengembangan cangkang atau rumah kerang dan siput. Untuk batu kapur yang terjadi secara mekanik sebetulnya bahannya tidak jauh beda dengan batu kapur secara organik yang membedakannya adalah terjadinya perombakan

dari bahan batu kapur tersebut kemudian terbawa oleh arus dan biasanya diendapkan tidak jauh dari tempat semula. Sedangkan yang terjadi secara kimia jenis batu kapur yang terjadi dalam kondisi iklim dan suasana lingkungan tertentu dalam air laut ataupun air tawar. Batu kapur (*limestone*) sangat banyak digunakan pada sektor konstruksi, antara lain :

1. Bahan bangunan. Bahan bangunan yang dimaksud adalah kapur yang dipergunakan untuk plester, adukan pasangan bata, pembuatan semen tras ataupun semen merah.
2. Bahan penstabilan jalan raya. Pemakaian kapur dalam bidang pementapan pondasi jalan raya termasuk rawa yang dilaluinya. Kapur ini berfungsi untuk mengurangi plastisitas, mengurangi penyusutan dan pemuaian pondasi jalan raya.
3. Batu gamping sebagai bahan baku semen.

(Hidayat, Arief. 2012. <http://ariefgeo.blogspot.com/2012/01/pemanfaatan-batugamping-batu-kapur.html>, 5 Mei 2014).

Batu kapur dapat dibedakan menjadi dua yaitu batu kapur non klastik dan batu kapur klastik. Batu kapur non klastik merupakan koloni binatang laut terutama terumbu dan koral yang merupakan anggota *coelenterate* sehingga di lapangan tidak menunjukkan perlapisan yang baik dan belum banyak mengalami pengotoran mineral lain. Sedangkan batu kapur klastik merupakan hasil rombakan jenis batu gamping non klastik. (Sukandarumidi 2004, dalam Koordijanto 2009).

Kapur dalam campuran aspal panas (*hotmix*) menciptakan banyak manfaat diantaranya adalah bertindak sebagai *anti stripping agent* yang dapat meningkatkan *durabilitas* atau keawetan kinerja campuran beton aspal dalam menerima repetisi beban lalu-lintas seperti berat kendaraan dan gesekan antara roda kendaraan dan permukaan jalan, serta menahan keausan akibat pengaruh cuaca dan iklim seperti udara, air, atau perubahan temperatur. Di sisi lain kapur juga berperan sebagai *stabilisator* guna peningkatan stabilitas campuran sehingga tahan terhadap alur (*rutting*) dan deformasi plastis. Kapur juga dapat mempengaruhi kinerja campuran beton aspal dengan cara meningkatkan ikatan

antara aspal dan agregat.

Adapun cara memperoleh deposit batu kapur batu kapur :

1. Untuk mengetahui jumlah cadangan atau endapan batu kapur, terlebih dahulu perlu diadakan penyelidikan dengan geologi di daerah kapur. Pengeboran inti dan sumur eksplorasi. Apabila contoh telah diperoleh, harus diselidiki dulu di laboratorium. Baik penyelidikan secara *microspii* maupun secara kimia untuk menentukan kadar CaO.
2. Barulah diadakan pengeboran atau penambangan bila jumlahnya banyak dan menguntungkan penambangan endapan batu kapur dapat dikerjakan dengan cara *quarry*. Pada umumnya batu kapur mempunyai lapisan luar yang tipis, yang terdiri dari tanah liat (clay, pasir, dan gravel). Untuk itu lapisan tersebut perlu dikupas. Jika lapisan tersebut keras, maka dilakukan pengeboran dan peledakan.
3. Setelah pengupasan dilaksanakan, maka batu kapur diambil dengan pengeboran dan peledakan. Bongkahan yang pecah kemudian diangkut ke pengolahan.

(Subkan, Ahmad. 2013. <http://ahmatsubkan.blogspot.com/2013/01/batu-kapur.html>, 4 April 2014).