

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jenis Perkerasan Jalan

Menurut Silvia Sukirman, 2007, berdasarkan bahan pengikatnya konstruksi perkerasan jalan terbagi menjadi :

1. Konstruksi perkerasan lentur (flexible pavement), yaitu perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar.
2. Konstruksi perkerasan kaku (rigid pavement), yaitu perkerasan yang menggunakan semen (Portland cement) sebagai bahan pengikatnya.
3. Konstruksi perkerasan komposit (composite pavement), yaitu perkerasan kaku yang dikombinasikan dengan perkerasan lentur dapat berupa perkerasan lentur diatas perkerasan kaku, atau perkerasan kaku diatas perkerasan lentur.

2.2 Material Penyusun Perkerasan Jalan

2.2.1 Pengertian Agregat

Menurut Silvia Sukirman, 1995, agregat/batuan merupakan komponen utama dari lapisan perkerasan jalan yaitu mengandung 90-95% agregat berdasarkan persentase berat atau 75-80% agregat berdasarkan persentase volume. Dengan demikian daya dukung, keawetan dan mutu perkerasan jalan ditentukan juga dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain.

2.2.2 Jenis Agregat

Berdasarkan jenis dan ukuran butirannya agregat dibedakan menjadi agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi (filler). Batasan dari masing-masing agregat ini seringkali berbeda, sesuai institusi yang menentukannya.

a. Agregat kasar

Agregat kasar yaitu agregat yang tertahan pada saringan no.8 (2,36 mm), agregat kasar untuk campuran aspal harus terdiri dari batu pecah yang bersih, kuat, kering, bebas dari kotoran lempung dan material asing lainnya serta mempunyai tekstur permukaan yang kasar dan tidak bulat agar dapat memberikan sifat interlocking yang baik dengan material yang lain. Persyaratan umum agregat kasar sesuai ketentuan Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Divisi 6 diperlihatkan dalam tabel 2.1.

Tabel 2.1 Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian		Standar	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan natrium dan magnesium sulfat		SNI 3407 : 2008	Maks. 12%
Abrasi dengan mesin Los Angeles	Campuran aspal bergradasi kasar	SNI 2417 : 2008	Maks.30%
	Semua jenis campuran aspal gradasi lainnya		Maks.40%
Kekekalan agregat terhadap aspal		SNI 03-2439- 1991	Min.95%
Angularitas (kedalaman dari permukaan < 10 cm)		DoT's Pennsylvania	95/90 1
Angularitas (kedalaman dari permukaan \geq 10 cm)		Test Method, PTM No.621	80/75 1
Partikel pipih dan lonjong		ASTM D4791 Perbandingan 1 : 5	Maks.10%
Material lolos ayakan No. 200		SNI 03-4142- 1996	Maks.1%

(Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Divisi 6 Perkerasan Aspal)

b. Agregat halus

Agregat halus adalah agregat dengan ukuran butir lebih kecil dari saringan no.8 (2,36 mm). Agregat dapat meningkatkan stabilitas campuran dengan penguncian antara butiran, agregat halus juga mengisi ruang antar butir. Bahan ini dapat terdiri dari butir-butiran batu pecah atau pasir alam atau campuran dari keduanya. Persyaratan umum agregat halus sesuai ketentuan Spesifikasi Bina Marga 2010 Divisi 6 diperlihatkan dalam tabel 2.2.

Tabel 2.2 Ketentuan Agregat halus

Pengujian	Standar	Nilai
Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Min.50% SS, HRS dan AC
Material lolos ayakan No.200	SNI 03-4428-1997	Max 8%
Kadar lempung	SNI 3423 : 2008	Maks 1%
Angularitas (kedalaman dari permukaan < 10cm)	AASHTO TP-33 Atau	Min. 45
Angularitas (kedalaman dari permukaan 10 cm)	ASTM C1252-93	Min.40

(Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Divisi 6 Perkerasan Aspal)

c. Bahan Pengisi (*Filler*)

Bahan pengisi adalah bahan yang lolos saringan No.200 (0,075 mm) dan tidak kurang dari 75% terhadap beratnya. Fungsi dari bahan pengisi adalah sebagai pengisi rongga udara pada material sehingga, memperkaku lapisan aspal. *Filler* yang dapat digunakan berupa abu batu debu atau semen Portland.

2.2.3 Sifat Agregat

Sifat agregat menentukan kualitasnya sebagai bahan material perkerasan jalan, dimana agregat itu sendiri merupakan bahan yang kaku dan keras. Agregat dengan kualitas dan mutu yang baik dibutuhkan

untuk lapisan permukaan yang langsung memikul beban lalu lintas dan menyebarkannya ke lapisan dibawahnya. (Silvia Sukirman, 1995).

Sifat agregat yang menentukan kualitasnya sebagai bahan konstruksi perkerasan jalan dapat dikelompokkan menjadi :

1. Kekuatan dan keawetan yang dipengaruhi oleh:

- Gradasi
- Ukuran maksimum
- Kadar lempung
- Kekerasan dan ketahanan
- Bentuk butir
- Tekstur permukaan

2. Kemampuan yang dilapisi dengan aspal yang baik dipengaruhi oleh:

- Porositas
- Kemungkinan basah
- Jenis agregat

3. Kemudahan dalam pelaksanaan dan menghasilkan lapisan yang nyaman dan aman yang dipengaruhi oleh:

- Tahan geser
- Campuran yang memberikan kemudahan dalam pelaksanaan
(Silvia : 1995).

2.2.4 Gradasi Agregat

Gradasi merupakan hal yang penting dalam menentukan stabilitas perkerasan. Gradasi agregat biasanya mempengaruhi besarnya rongga antar butir yang akan menentukan stabilitas dan kemudahan dalam proses pelaksanaan. Gradasi agregat diperoleh dari hasil analisa saringan dengan menggunakan 1 set saringan dimana saringan yang paling kasar diletakkan diatas dan yang paling halus terletak paling bawah. 1 set saringan dimulai dari pan dan diakhiri dengan tutup. Gradasi agregat dibedakan atas :

a. Gradasi seragam (*uniform graded*)

Gradasi seragam adalah gradasi agregat dengan ukuran yang hampir sama. Gradasi seragam disebut juga gradasi terbuka (*open graded*) karena hanya mengandung sedikit agregat halus sehingga terdapat banyak rongga atau ruang kosong antar agregat. Campuran beraspal yang dibuat dengan gradasi ini bersifat porus atau memiliki permeabilitas yang tinggi, stabilitas yang rendah dan memiliki berat isi yang kecil.

b. Gradasi rapat (*Dense graded*)

Gradasi rapat adalah gradasi agregat dimana terdapat butiran dari agregat kasar sampai halus dalam porsi yang seimbang, sehingga sering disebut gradasi menerus atau gradasi baik (*well graded*). Agregat dikatakan bergradasi baik jika persen yang lolos setiap lapis dari sebuah gradasi memenuhi:

$$P = 100 (d/D)^{0,45}$$

Dimana:

P = Persen lolos saringan dengan bukaan d mm

d = Ukuran agregat yang sedang diperhitungkan

D = Ukuran maksimum partikel dalam gradasi terbuka

Agregat dengan gradasi rapat akan menghasilkan lapisan perkerasan dengan stabilitas yang tinggi, kurang kedap air, sifat drainase jelek dan berat volume besar.

c. Gradasi senjang (*Gap graded*)

Gradasi senjang adalah gradasi agregat dimana ukuran agregat yang ada tidak lengkap atau ada fraksi agregat yang tidak ada atau jumlahnya sedikit sekali. Agregat dengan gradasi senjang akan menghasilkan lapisan perkerasan yang mutunya terletak antara agregat bergradasi seragam dan agregat bergradasi rapat. Gradasi agregat yang ditentukan pada Spesifikasi Bina Marga 2010 diperlihatkan pada tabel 2.3.

Tabel 2.3 Gradasi agregat untuk campuran aspal

Ukuran Ayakan (mm)	% Berat yang lolos terhadap total agregat dalam campuran laston (AC)					
	Gradasi halus			Gradasi kasar		
	WC	BC	BASE	WC	BC	BASE
37,5	-		100	-	-	100
25	-		90-100	-	100	90-100
19	100	100	73-90	100	90-100	73-90
12,5	90-100	90-100	61-79	90-100	71-90	55-76
9,5	72-90	74-90	47-67	72-90	58-80	45-66
4,75	54-69	64-82	39,5-50	43-63	37-56	28-39,5
2,36	39,1-53	34,6-49	30,8-37	28-39,1	23-34,6	19-26,8
1,18	31,6-40	28,3-38	24,1-28	19-25,6	15-22,3	12-18,1
0,600	23,1-30	20,7-28	17,6-22	13-19,1	10-16,7	7-13,6
0,300	15,5-22	13,7-20	11,4-16	9-15,5	7-13,7	5-11,4
0,150	9-15	4-13	4-10	6-13	5-11	4,5-9
0,075	4-10	4-8	3-6	4-10	4-8	3-7

(Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga Divisi 6 Perkerasan Jalan)

2.2.5 Daya Tahan Agregat

Daya tahan agregat adalah ketahanan agregat untuk tidak hancur/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 kelembaban, kepanasan ataupun perbedaan temperature 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 layanan jalan tersebut.

Ketahanan agregat terhadap penghancuran (degradasi) diperiksa dengan menggunakan percobaan Abrasi *Los Angeles* berdasarkan PB-0206-76, AASHTO T96-7 (1982).

2.2.6 Bentuk dan Tekstur Agregat

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

- Bulat (*rounded*)

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

- 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 adalah perbandingan dalam persen dari berat agregat lonjong terhadap berat total. Sifat *interlockingnya* hampir sama dengan yang berbentuk bulat.

- Kubus (*cubical*)

Partikel berbentuk kubus merupakan bentuk agregat hasil dari mesin pemecah batu yang mempunyai bidang kontak yang lebih 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 berbentuk kubus ini paling baik digunakan sebagai bahan konstruksi perkerasan jalan.

- Pipih (*flaky*)

Partikel agregat berbentuk pipih dapat merupakan hasil dari mesin pemecah batu ataupun memang merupakan sifat dari agregat tersebut yang jika dipecahkan cenderung berbentuk pipih. Agregat pipih yaitu agregat yang lebih tipis dari 0,6 kali diameter rata-rata. Agregat berbentuk pipih mudah pecah pada waktu pencampuran, pemadatan, ataupun akibat beban lalu lintas. Oleh karena itu banyaknya agregat pipih ini dibatasi dengan menggunakan nilai indeks kepipihan yang disyaratkan.

- Tak beraturan (*irregular*)

Partikel agregat yang tidak beraturan, tidak mengikuti salah satu yang disebutkan diatas. Gesekan yang timbul antar partikel menentukan juga stabilitas dan daya dukung dari lapisan perkerasan. Besarnya 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*).

2.3 Aspal

Aspal merupakan material berwarna hitam atau coklat tua. Pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat, jika dipanaskan sampai temperature tertentu dapat menjadi lunak/cair sehingga dapat membungkus partikel agregat pada waktu pembuatan campuran aspal beton atau dapat masuk kedalam pori-pori yang ada pada penyemprotan/penyiraman pada perkerasan macadam atau pelaburan. Bersama agregat aspal merupakan material pembentuk campuran perkerasan jalan.

Banyaknya aspal dalam campuran perkerasan berkisar antara 4-10% berdasarkan berat campuran, atau 10-15% berdasarkan volume campuran (Silvia Sukirman, 2003).

Fungsi aspal pada perkerasan jalan adalah :

1. Sebagai bahan pengikat antar agregat
2. Sebagai bahan pengisi, mengisi rongga antar butir-butir agregat dan pori-pori yang ada dari agregat itu sendiri.

2.3.1 Jenis-jenis aspal

Berdasarkan asal dan proses pembentukannya aspal diklasifikasikan berdasarkan :

- a. Aspal alam, dibedakan menjadi:
 - Aspal gunung (*rock asphalt*), contohnya aspal dari Pulau Buton.
 - Aspal danau (*lake asphalt*), contohnya aspal dari Bermudez, Trinidad.
- b. Aspal buatan, dibedakan menjadi:
 - Aspal minyak, merupakan hasil penyulingan minyak bumi.
 - Ter, merupakan hasil penyulingan batu bara.

Aspal minyak dapat dibedakan lagi menjadi:

1. Aspal keras/panas (*asphalt cement*), adalah aspal yang digunakan dalam keadaan cair dan panas. Aspal ini berbentuk padat pada keadaan penyimpanan (temperature ruang).
2. Aspal dingin/cair (*cut back asphalt*), adalah aspal yang digunakan dalam keadaan cair dan dingin. Aspal cair dihasilkan dengan melarutkan aspal keras dengan bahan pelarut berbasis minyak.
3. Aspal emulsi (*emulsion asphalt*), adalah aspal yang disediakan dalam bentuk emulsi. Berdasarkan ketiga bentuk aspal tersebut, semen aspal atau aspal padat yang paling banyak digunakan terutama untuk perkerasan jalan (Silvia Sukirman, 2007). Aspal yang digunakan untuk perkerasan jalan yang dicampurkan dengan agregat atau tanpa bahan tambahan disebut dengan aspal beton. Dan yang paling umum digunakan yaitu aspal beton campuran panas yang dikenal dengan *Hot Mix* sedangkan jenis lainnya seperti aspal beton campuran

hangat, aspal beton campuran dingin, dan aspal mastis (Asiyanto, 2008).

Aspal pada umumnya harus memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan sesuai dengan ketentuan yang ada, seperti tertera dalam tabel 2.4.

Tabel 2.4 Spesifikasi Aspal Keras pen 60/70

No.	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Persyaratan
1.	Penetrasi, 25° C, 100 gr, 5	SNI 06-2456-1991	60 – 70
2.	Viskositas 135° C	SNI 06-6441-1991	385
3.	Titik lembek	SNI 06-2434-1991	≥ 48
4.	Indeks penetrasi	-	≥ - 1,0
5.	Daktilitas pada 25° C (cm)	SNI 06-2432-1991	≥ 100
6.	Titik nyala	SNI 06-2433-1991	≥ 232
7.	Berat jenis	SNI 06-2441-1991	≥ 1,0
8.	Berat yang hilang	SNI 06-2440-1991	≥ 0,8

(Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Divisi 6 Perkerasan Aspal Tabel 6.3.2.)

2.3.2 Sifat-sifat aspal

2.3.2.1 Sifat Kimia

Aspal merupakan suatu campuran antara terutama bitumen, serta mineral lainnya, sehingga sifat paling menentukan didalam aspal adalah terutama sifat bitumennya itu. Aspal merupakan suatu campuran koloid, dimana butir-butir yang merupakan bagian yang padat disebut asphaltene yang berada didalam masa cair yang disebut maltene. Maltene terdiri dari senyawa-senyawa basa nitrogen, acidaffin satu, acidaffin dua dan parafin. Senyawa basa nitrogen merupakan jenis dammar (resin) yang reaktif sehingga dapat mendispersikan asphaltene.

Maka sifat-sifat dari bahan campuran yang ada didalam aspal itu adalah:

- Asphaltene merupakan bahan utama untuk memiliki sifat kekerasan.
- Damar (resin) menyebabkan adanya sifat lekat serta lia.
- Minyak menyebabkan sifat plastis sampai cair, sehingga aspal memiliki sifat viskositet dan kelembekan.

2.3.2.2 Sifat Fisis

Sifat fisis aspal yang terutama untuk dipakai dalam konstruksi jalan ialah:

a. Kepekatan (konsistensi)

Peranan kepekatan bahan-bahan aspal, untuk memilih dan memakai, ada dua hal yaitu:

- Pertimbangan terhadap sifat kepekatan untuk suhu yang tertentu, yang akan membagi-bagi, berapa macam `bahan.
- Pengaruh suhu terhadap konsistensi.

b. Ketahanan lama

Ketahanan lama atau ketahanan terhadap pelapukan oleh cuaca. Agar suatu bahan perekat aspal memuaskan sifatnya sebagai perekat ia harus tetap plastis. Bila aspal terkena pengaruh cuaca dalam bentuk lapisan yang tipis, ia akan berangsur-angsur hilang sifat plastisnya dan akan menjadi regas, karena perubahan kimia atau fisika. Perusakan oleh ala ini disebut pelapukan. Pelapukan lapisan hamparan jalan, terutama akibat dari oksidasi dan penguapan.

Faktor lain yang menyebabkan kerusakan itu juga akibat sinar gelombang pendek dari matahari, umur pengerasan dan akibat bocoran air. Sifat-sifat aspal yang ada hubungannya dengan ketahanan lama atau pengaruh pelapukan antara lain:

- Titik lembek
- Oksidasi dan penguapan

- Pengaruh suhu
- Pengaruh luas permukaan
- Pengaruh sinar matahari
- Pengaruh susunan kimia
- Aspal yang dibuat dengan proses *cracking*

c. Derajat Pengerasan (rate & curing)

Bila suatu campuran yang terdiri dari naptha, kerosene dan minyak lumas encer, kita laburkan pada suatu permukaan, maka cairan naptha akan menguap terlebih dahulu dan setelah itu akan menguap cairan kerosene dan yang terakhir minyak lumas. Jadi suatu aspal cair bila dibiarkan terbuka diudara dalam lapisan tiris berangsur-angsur akan mengentak membentuk kembali aspal padat jenis AC. Waktu yang diperlukan untuk mengental kembali itu disebut derajat pengerasan. Derajat pengerasan dipengaruhi oleh: - Penguapan dari bahan pelarut/pengencer

- Jumlah pelarut/pengencer dalam aspal cair
- Angka penetrasi dari aspal dasar yang dicairkan

Sedangkan faktor luar yang mempengaruhi kecepatan pengentalan adalah:

- Suhu sekeliling
- Luas permukaan penguapan atau perbandingan antara luas permukaan dan volumenya
- Kecepatan angin yang melalui permukaan

d. Ketahanan terhadap pengaruh air

Sifat tahan lama aspal untuk hamparan jalan tergantung sekali pada kemampuan untuk dapat melekat dengan baik kepada butir agregat yang dicampur dengannya, dalam suasana basah (ada air). Kehilangan daya lekat aspal terhadap agregat mengakibatkan rusaknya hamparan jalan tersebut. Jelasnya lapisan aspal dari agregat, dalam adukan aspal dingin,

dapat diperkecil dengan menggunakan jenis agregat yang bersifat *hydrophilis*. Daya lekat akan lebih baik lagi bila menggunakan bahan additive yang bersifat anti lepas. Bahan additive biasanya dicampurkan dalam campuran panas aspal beton yang dihampar dingin, bila air tercampur pula dalam beton itu. Pada pemakaian campuran aspal panas, yang dihamparkan dalam keadaan panas pula, dimana sebelumnya agregatnya telah dikeringkan terlebih dahulu, bahan additive tidak perlu dipakai lagi.

2.4 Beton Aspal

Beton aspal adalah tipe campuran pada lapisan penutup konstruksi perkerasan jalan yang mempunyai nilai struktural dengan kualitas yang tinggi, terdiri atas agregat yang berkualitas yang dicampur dengan aspal sebagai bahan pengikatnya. Material-material pembentuk beton aspal dicampur di instalansi pencampur pada suhu tertentu, kemudian diangkut ke lokasi, dihamparkan dan dipadatkan.

2.4.1 Jenis beton aspal

- a. Beton aspal campuran panas (*hot mix*) adalah beton aspal yang material pembentuknya dicampur pada suhu pencampuran sekitar 140°C.
- b. Beton aspal campuran sedang (*warm mix*) adalah beton aspal yang material pembentuknya dicampur pada suhu pencampuran sekitar 60°C.
- c. Beton aspal campuran dingin (*cold mix*) adalah beton aspal yang material pembentuknya dicampur pada suhu pencampuran sekitar 25°C.

Berdasarkan fungsinya beton aspal dibedakan menjadi :

- a. Beton aspal untuk lapisan aus/*wearing course* (WC), adalah lapisan perkerasan yang berhubungan langsung dengan ban kendaraan, merupakan lapisan yang kedap air, tahan terhadap cuaca, dan mempunyai kekesatan yang diisyaratkan.
- b. Beton aspal untuk lapisan pondasi/*binder course* (BC), adalah lapisan perkerasan yang terletak dibawah lapisan aus tidak berhubungan langsung dengan cuaca, tetapi perlu stabilisasi untuk memikul beban lalu lintas yang dilimpahkan melalui roda kendaraan.
- c. Beton aspal untuk pembentuk dan perata lapisan beton aspal yang sudah lama, yang pada umumnya sudah aus dan seringkali tidak lagi berbentuk *crowm*. (Silvia Sukirman, 2003).

2.4.2 Karakteristik campuran aspal beton

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 terbentuk beton aspal padat. Perhitungan yang biasa digunakan pada campuran aspal beton adalah :

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

Berat jenis *bulk* dari beton aspal padat (G_{mb}) dapat diukur dengan menggunakan hukum Archimedes, yaitu :

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

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.

$$G_{mm} = \frac{100}{\frac{Ps}{Gse} + \frac{Pb}{Gb}}$$

Dimana :

Gmm = Berat jenis maksimum campuran

Pb = Jumlah aspal, % terhadap total berat campuran

Ps = Jumlah agregat, % terhadap total berat campuran

Gb = Berat jenis aspal

Gse = Berat jenis efektif agregat

3. Perhitungan Jumlah Aspal yang Terserap

$$Pba = 100 \cdot \frac{Gse - Gsb}{Gsb \cdot Gse} \cdot Gb$$

Dimana :

Pba = Aspal yang terserap, % berat terhadap agregat

Gsb = Berat jenis bulk agregat

Gse = Berat jenis spesifik agregat

Gb = Berat jenis aspal

4. Perhitungan Efektif Jumlah Aspal dalam Campuran

$$Pbe = Pb \cdot \frac{Pba}{100} \cdot Ps$$

Dimana :

Pbe = Jumlah aspal efektif, % terhadap total berat campuran

Pb = Jumlah aspal, % terhadap berat total campuran

Pba = Aspal yang terserap, % berat terhadap berat agregat

Ps = Jumlah agregat, % terhadap total berat campuran

5. Rongga diantara mineral agregat (VMA)

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

$$VMA = 100 - \frac{Gmb \times Ps}{Gsb}$$

Dimana :

Gmb = Berat jenis bulk campuran

Gsb = Berat jenis afektif agregat

Ps = Jumlah agregat, % terhadap total berat campuran

6. Rongga di dalam campuran (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.

$$VIM = 100 \cdot \frac{Gmm - Gmb}{Gmm}$$

Dimana :

VIM = Rongga di dalam campuran, persen terhadap volume total campuran

Gmm = Berat jenis maksimum campuran

Gmb = Berat jenis *bulk* campuran

7. Rongga terisi aspal (VFA)

Banyaknya pori-pori antara butir agregat (VMA) didalam beton aspal padat, yang terisi aspal, dinyatakan sebagai VMA. Persentase pori antar butir agregat yang terisi aspal dinamakan VFA. Jadi, VFA adalah bagian dari VMA yang terisi oleh aspal, tidak termasuk didalamnya aspal yang terarbsorbsi 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.

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

Dimana :

VFA = Pori antar butir agregat yang terisi aspal % dari VMA

VMA = Pori antara butir agregat didalam beton aspal padat, % dari volume beton bulk aspal padat

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

8. Berat Jenis Bulk Agregat Campuran (Gsb)

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 yang mempunyai berat jenis yang berbeda, sehingga untuk menghitung berat beton aspal padat dibutuhkan berat jenis agregat campuran.

$$Gsb = \frac{100}{\left(\frac{P1}{G1} + \frac{P2}{G2} + \dots + \frac{Pn}{Gn}\right)}$$

Dimana :

P1, P2, Pn = Persentase berat tiap jenis agregat

G1, G2, Gn = Spesifikasi berat tiap jenis agregat

9. Berat Jenis Efektif Agregat Campuran (Gse)

Berat jenis maksimum dari beton aspal yang belum dipadatkan, Gmm, dapat ditentukan di laboratorium.

$$Gse = \frac{100}{\left(\frac{P1}{Ge1} + \frac{P2}{Ge2} + \dots + \frac{Pn}{Gen}\right)}$$

Dimana :

P_1, P_2, \dots, P_n = Persentase berat tiap jenis agregat

Ge_1, Ge_2, \dots, Ge_n = Spesifikasi berat tiap jenis agregat

Spesifikasi hasil campuran laston dapat dilihat pada tabel 2.5 berikut.

Tabel 2.5 Sifat-Sifat Campuran Laston (AC)

Sifat-Sifat Campuran		Laston					
		Lapis Aus		Lapis Antara		Pondasi	
		Halus	Kasar	Halus	Kasar	Halus	Kasar
Kadar aspal efektif (%)	Min.	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					
	Maks .	5					
Rongga dalam agregat (%)	Min.	15		14		13	
Rongga terisi aspal (%)	Min.	65		63		60	
Stabilitas Marshall (kg)	Min.	800				1800	
Pelelehan (mm)	Min.	3				4,5	
Marshall Quotient (kg/mm)	Min.	200				300	
Stabilitas marshall sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60° C	Min.	90					
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (refusal)	Min.	2					

(Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2010)

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

a. Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan lapisan perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, ataupun *bleeding*. Kestabilan yang terlalu tinggi menyebabkan lapisan menjadi kaku dan cepat mengalami retak, disamping itu karena volume antar agregat kurang, mengakibatkan kadar aspal yang dibutuhkan rendah.

Hal ini menghasilkan film aspal tipis dan mengakibatkan 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 bergradasi baik, bergradasi rapat memberikan rongga antar butiran agregat (voids in mineral agregat = VMA) yang kecil. Keadaan ini menghasilkan stabilitas yang tinggi, tetapi membutuhkan kadar aspal yang rendah untuk mengikat agregat. VMA yang kecil mengakibatkan aspal yang dapat menyelimuti agregat terbatas dan menghasilkan film aspal yang tipis. 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.

b. Durabilitas atau ketahanan

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

Faktor yang mempengaruhi durabilitas lapis aspal beton adalah:

1. Film aspal atau selimut aspal, film aspal yang tebal dapat menghasilkan lapis aspal beton yang berdurabilitas tinggi, tetapi kemungkinan terjadinya *bleeding* menjadi tinggi.
2. VIM kecil sehingga lapis kedap air dan udara tidak masuk ke dalam campuran yang menyebabkan terjadinya oksidasi dan aspal menjadi rapuh/getas.
3. VMA besar, sehingga film aspal dapat dibuat tebal. Jika VMA dan VIM kecil serta kadar aspal tinggi kemungkinan terjadinya *bleeding* besar. Untuk mencapai VMA yang besar ini dipengaruhi agregat bergradasi senjang.

c. Fleksibilitas atau kelenturan

Fleksibilitas atau kelenturan adalah kemampuan lapisan untuk dapat mengikuti deformasi yang terjadi akibat beban lalu lintas berulang tanpa timbulnya retak dan perubahan volume. Fleksibilitas yang tinggi dapat diperoleh dengan:

1. Penggunaan agregat bergradasi senjang sehingga diperoleh VMA yang besar
2. Penggunaan aspal lunak (aspal dengan penetrasi yang tinggi)
3. Penggunaan aspal yang cukup banyak sehingga diperoleh VIM yang kecil

d. Kekesatan (*skid resistance*)

Kekesatan (*skid resistance*) adalah kekesatan yang diberikan oleh perkerasan sehingga kendaraan tidak mengalami slip baik di waktu hujan atau basah maupun di waktu kering. Kekesatan dinyatakan dengan koefisien gesek antar permukaan jalan dan ban kendaraan.

Kekesatan akan tinggi apabila:

1. Penggunaan kadar aspal yang tepat sehingga tak terjadi *bleeding*

2. Penggunaan agregat dengan permukaan kasar
3. Penggunaan agregat berbentuk kubus
4. Penggunaan agregat kasar yang cukup

e. Ketahanan leleh (*fatigue resistance*)

Ketahanan leleh (*fatigue resistance*) adalah ketahanan dari lapis aspal beton dalam menerima beban berulang tanpa terjadinya kelelahan yang berupa alur (ruting) dan retak. Faktor yang mempengaruhi ketahanan terhadap kelelahan adalah:

1. VIM yang tinggi dan kadar aspal yang rendah akan mengakibatkan kelelahan yang lebih cepat
2. VMA yang tinggi dan kadar aspal yang tinggi dapat mengakibatkan lapis perkerasan menjadi fleksibel

f. Permeabilitas

Permeabilitas yaitu kemudahan campuran aspal dirembesi air dan udara.

g. Kemudahan pelaksanaan (*Workabilitas*)

Kemudahan pelaksanaan (*Workabilitas*) adalah mudahnya suatu campuran untuk dihampar dan dipadatkan sehingga diperoleh hasil yang memenuhi kepadatan yang diharapkan. Faktor yang mempengaruhi kemudahan dalam pelaksanaan adalah:

1. Gradasi agregat, agregat bergradasi baik lebih mudah dilaksanakan daripada agregat yang bergradasi buruk.
2. Temperatur campuran, yang ikut mempengaruhi kekerasan bahan pengikat yang bersifat termoplastis.
3. Kandungan bahan pengisi (*filler*) yang tinggi menyebabkan pelaksanaan lebih sulit.

2.5 Perencanaan Campuran

Jika agregat dicampur dengan aspal maka:

1. Partikel-partikel antar agregat akan terikat satu sama lain oleh aspal.
2. Rongga-rongga agregat ada yang terisi aspal dan ada pula yang terisi udara.
3. Terdapat rongga antar butir yang terisi udara.
4. Terdapat lapisan aspal yang ketebalannya tergantung dari kadar aspal yang digunakan untuk menyelimuti partikel-partikel agregat.

Lapisan aspal yang baik haruslah memenuhi 4 syarat yaitu stabilitas, durabilitas, fleksibilitas, dan tahanan geser. Jika kadar aspal yang digunakan terlalu sedikit, akan mengakibatkan lapisan pengikat antar butir kurang, terlebih lagi jika kadar rongga yang dapat diresapi aspal besar. Hal ini akan mengakibatkan lapisan pengikat aspal cepat lepas dan durabilitas berkurang. Sedangkan kadar aspal yang terlalu tinggi dapat mengakibatkan kelenturan yang baik tetapi dapat terjadi *bleeding* sehingga stabilitas dan tahanan geser berkurang.

Dengan demikian faktor yang mempengaruhi kualitas dari beton aspal adalah:

1. Absorpsi aspal
2. Kadar aspal efektif
3. Rongga antar butir (VMA)
4. Rongga udara dalam campuran (VIM)
5. Gradasi agregat

2.6 Campuran aspal dan agregat

a. LAPEN (Lapis Penetrasi Macadam)

Campuran antara agregat dan aspal yang terdiri atas agregat pokok dan agregat pengunci dengan gradasi terbuka dan seragam diikat dengan aspal dengan cara disemprotkan di atasnya dan dipadatkan lapis demi lapis.

b. LATASIR (Lapis Tipis Aspal Cair)

Campuran yang terdiri dari aspal dan pasir bergradasi menerus akan dicampur pada suhu minimum 120°C dan dipadatkan pada suhu minimum 98°C - 110°C.

c. BURAS (Laburan Aspal)

Campuran yang terdiri atas aspal laburan pasir dengan ukuran maksimum 3/8".

d. BURTU (Lapisan Aspal Satu Lapis)

Campuran ini sama dengan BURAS tetapi dengan laburan satu lapisan agregat bergradasi seragam dengan tebal maksimum 20 mm. Digunakan pada jalan yang belum atau sudah beraspal yang sudah stabil, mulai retak atau mengalami degradasi dan dapat digunakan sampai lalu lintas berat.

e. BURDA (Laburan Aspal Dua Lapis)

Pengembangan dari BURTU, dimana laburan aspal ditaburi agregat dan dikerjakan dua kali secara berurutan dengan tebal maksimum 35 mm.

f. LASBUTAG (Lapis Asbuton Campuran Dingin)

Campuran yang terdiri atas campuran agregat, asbuton, dan bahan peremaja yang dicampur, diaduk, diperam, dihamparkan dan dipadatkan dalam keadaan dingin (tanpa pemanasan). Campuran ini merupakan jenis campuran yang memanfaatkan langsung aspal alam, yaitu aspal dari Pulau Buton (yang disebut Asbuton).

g. LATASBUM (Lapisan Tipis Asbutin Murni)

Pengembangan lain dari pemanfaatan aspal alam asbuton adalah dengan melakukan ekstraksi untuk mendapatkan aspal murni dari dalam batuan asbuton

h. LASTON (Lapis Aspal Beton) atau Asphaltic Concrete, AC

Campuran aspal dengan agregat bergradasi menerus yang dicampur pada suhu minimum 115°C.

i. LASTON Atas (Lapis Aspal Beton Pondasi Atas)

Campuran ini adalah penggunaan laston sebagai lapis pondasi. Campuran ini terdiri dari campuran agregat dan aspal dengan perbandingan tertentu dan dicampur pada suhu 90°C - 120°C dan dipadatkan dalam keadaan panas.

- j. LASTON Bawah (Lapis Aspal Beton Pondasi Bawah)
Sama halnya dengan LASTON atas, tetapi sebagai lapis pondasi bawah. Campuran ini terdiri dari campuran agregat dan aspal yang dicampur pada suhu minimum 80°C - 120°C dan dipadatkan pada suhu minimum 80°C.
- k. LATASTON (Lapis Tipis Aspal Beton) atau Hot Rolled Sheet, HRS
Campuran ini menggunakan agregat bergradasi timpang, aspal dan ditambah filler yang dicampur pada suhu tertentu.
- l. Hot Rolled Asphalt (HRA)
Campuran ini menggunakan agregat bergradasi senjang. Campuran ini menggunakan sedikit agregat berukuran sedang (2,36 mm sampai dengan 10 mm), dan matriks pasir, mineral halus dan aspal serta sedikit agregat kasar (biasanya berukuran nominal 14 mm).
- m. Stone Mastic Asphalt (SMA)
Stone Mastic Asphalt dikembangkan di Skandinavia dan Jerman. Campuran SMA bergradasi kasar seperti asphalt porous, tetapi rongganya terisi oleh mortar agregat halus/aspal.

2.7 Semen

Semen didefinisikan sebagai campuran antara batu kapur/gamping (bahan utama) dan lempung/tanah liat atau bahan pengganti lainnya dengan hasil akhir berupa padatan berbentuk bubuk, tanpa memandang proses pembuatannya, yang mengeras atau membatu pada pencampuran dengan air.

Bahan-bahan pembutan semen adalah

- Batu kapur menghasilkan kalsium karbonat
- Tanah liat menghasilkan alumina dan silika

Fungsi semen secara umum adalah untuk merekatkan butiran-butiran agregat agar terjadi suatu masa yang padat. Kandungan silika dan alumina pada semen merupakan unsur utama pembentuk semen yang apabila bereaksi dengan air akan menjadi media perekat. Susunan komposisi semen diperlihatkan dalam tabel 2.6 (Tjokrodimuljo, 1996).

Tabel 2.6 Komposisi unsur semen biasa

Oksida	Persentase
Kapur, CaO	60-65
Silika, SiO ₂	17-25
Alumina, Al ₂ O ₃	3-8
Besi, Fe ₂ O ₃	0,5-6
Magnesia, MgO	0,5-4
Sulfur, SO ₃	1-2
Soda/potash Na ₂ O + K ₂ O	0,5-1

(Sumber : Tjokrodinuljo, 1996)

Sebagian besar semen modern mempunyai kandungan kapur yang tinggi, dan biasanya melampaui 65%. Semen dengan kandungan kapur dibawah 65%, pengerasannya seringkali agak lambat. Dalam hal ini, kandungan kapur maksimum dibatasi oleh kebutuhan untuk menghindari kapur bebas dalam semen. Keberadaan kapur bebas bisa menjadi sumber kelemahan pada permukaan *interface* antara pasta semen dengan agregat, dan juga bisa menyebabkan ketidakstabilan pada proses pengerasan pasta semen. Dalam proses hidrasi dan pengerasan semen, kapur dan silika akan menjadi penyumbang kekuatan terbesar. Sedangkan alumina dan oksida besi berfungsi untuk mengatur kecepatan proses hidrasi. Namun dalam proses produksi semen, terutama dalam proses pembakarannya, alumina dan oksida besi akan bertindak sebagai suatu media pembakaran yang berfungsi untuk mengurangi tingkat suhu pembakaran semen.

2.8 Limbah Karbit

Limbah karbit adalah sisa dari reaksi karbit terhadap air yang menghasilkan gas asitilen, digolongkan dalam jenis kapur padam seperti dinyatakan Zainal Abidin (1984) memiliki sifat-sifat kapur untuk bahan bangunan sesuai dengan SII 0024-80 dengan adanya dua parameter yang menyimpang yaitu kadar CaO + MgO lebih rendah dan CO₂ yang cukup

tinggi. Berdasarkan pengujian mengandung kalsium yang cukup tinggi, yaitu 73,22 %.

Gas Calcium Dicarbide atau lebih dikenal dengan gas karbit adalah suatu senyawa tak berwarna CaC_2 . Di Negara yang mempunyai tenaga listrik kuat dibuat dengan memanaskan Kalsium Oksida (CaO) atau batu gamping dengan kokas atau etuna pada suhu diatas 2000°C didalam tungku busur elektrik. Kristal hasil pembakaran terdiri dari ion Ca^{2+} dan Ca^{2-} dengan susunan Natrium Klorida. Jhon Daith yang dikutip oleh M.Istiwarni (1999 : 20) menjelaskan bila air ditambahkan pada kalsium karbida dihasilkan bahan dasar etuna organik yang berupa gas dan endapan.

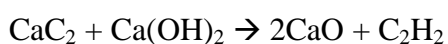
Menurut Kirk dan Othmer yang dikutip P. Sumardi (1991 : 38) menyatakan bahwa karbit yang diperdagangkan bukan senyawa murni tetapi merupakan campuran yang terdiri dari CaC_2 kelebihan CaO dan sedikit zat pengotor.

Kalsium karbit yang merupakan hasil sampingan pembuatan gas asetelin adalah berupa padatan berwarna putih kehitaman atau keabu-abuan dengan berat jenis sebesar 2,22. Awal dihasilkannya limbah karbit berupa koloid (semi cair) karena gas ini mengandung gas dan air. Setelah 3-7 hari, gas yang terkandung menguap perlahan seiring dengan penguapan gas dan air kapur limbah mulai mengering, berubah menjadi gumpalan-gumpalan yang rapuh dan mudah di hancurkan serta dapat menjadi serbuk.

Reaksi yang terjadi pada pembuatan gas asetilen adalah :



Apabila kekurangan air maka yang terjadi adalah:



Berikut adalah komposisi kimia limbah karbit secara umum diperlihatkan dalam tabel 2.7.

Tabel 2.7 Komposisi Kimia Limbah Karbit

No.	Komposisi Kimia	Kandungan (%)
1	SiO ₂	0,50
2	Fe ₂ O ₃	0,04
3	Al ₂ O ₃	3,20
4	CaO	72,33
5	Lain-lain	23,93

(Sumber : Budirto, 2007)

Komposisi limbah karbit berdasarkan pengujian oleh PT. IGA Murni Sejahtera diperlihatkan dalam tabel 2.8.

Tabel 2.8 Komposisi Kimia Limbah Karbit

Komposisi Kimia	Kandungan (%)
SiO ₂ , Silika	2,7
Fe ₂ O ₃ , Besi Oksida	0,41
CaO, Kalsium	61,95
Al ₂ O ₃ , Aluminium Oksida	1,19
MgO, Magnesium	0,75
Hilang pijar termasuk CO ₂	33,55
SO ₃ , Sulfat	0
Ca(OH) ₂	42,75

(Sumber : PT. IGA MURNI SEJAHTERA)

Hasil analisa kapur limbah karbit yang diperiksa sebagai kapur padam oleh Zainal Abidin (1984 : 2) diperlihatkan dalam tabel 2.9

Tabel 2.9. Hasil analisa kapur limbah karbit sebagai kapur padam

Parameter	Kapur untuk bahan bangunan		Hasil analisa kapur buangan Industri Gas
	Kelas I	Kelas II	
CaO+MgO (setelah dikoreksi dengan SO ₃)	65%	65%	61,75%
CO ₂	6%	6%	22,14%
Kadar Air	1,5%	1,5%	2,59%
Bagian yang tidak larut	1%	3%	1%

(Sumber : Zainal Abidin, 1984 : 2)

Melihat data diatas Zainal Abidin menyatakan bahwa ada dua parameter menyimpang dari standar yaitu :

1. CaO dan MgO aktif (setelah dikoreksi dengan SO₃)
2. Gas CO₂

Untuk a dan b kelihatannya ada hubungan, yaitu rendahnya CaO disebabkan tingginya kadar CO₂. Hal ini dapat diperhatikan bahwa bagian yang tidak terlarut dalam kapur limbah karbit adalah kandungan SiO₂, sehingga dengan melihat parameter tersebut kapur limbah karbit ini dapat digolongkan ke dalam jenis kapur bahan bangunan kelas II.

Menurut Yus yudyiantoro (1998 : 33) dibaca dari Proyek Akhir Analisis Kuat Tekan Batako dengan Limbah Karbit Sebagai Bahan Tambah, Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta, 2010, menyatakan bahwa kandungan yang cukup tinggi membuat limbah karbit memiliki sifat-sifat fisis menyerupai kalsium hidroksida dalam hal:

1. Senyawa kimia terbesar adalah Ca dan Ca(OH)₂
2. Daya ikat terhadap air cukup tinggi

Sifat non plastis karena merupakan bahan berbutir