EDISI KETIGA

BAHAN DAN STRUKTUR JALAN RAYA



USTAKAAN
WA TIMUR

72
P

Ir.Suprapto Tm, M.Sc.

BIRO PENERBIT
TEKNIK SIPIL UNIVERSITAS GADJAH MADA

Lentera Karya
www.lenterakarya234.blogspot.com

BAHAN DAN STRUKTUR JALAN RAYA

Ir. Suprapto Tm, M.Sc.
Dosen Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Gadjah Mada

Biro Penerbit KMTS FT UGM

Edited by Foxit PDF Editor
Copyright (c) by Foxit Software Company, 2004 - 2007
For Evaluation Only.

302.15 / BAP / P/06

MILIK
Badan Perpustakaan
Propinsi Jawa Timur

Bahan dan Struktur Jalan Raya

Hak cipta © 2004 pada **Biro Penerbit KMTS FT UGM**

Sumber Naskah : **Ir. Suprapto TM, M.Sc.**
Dosen Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Gadjah Mada

Hak cipta dilindungi Undang-Undang.
Dilarang keras menyalin, menjiplak, memfotocopy, memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini serta memperjualbelikan tanpa ijin tertulis dari ***Biro Penerbit KMTS FT UGM***

Naskah diketik dan diedit oleh :
Anjangsono
Novan Adilla
RizA AinuL

Design Cover :
Wachid Setyawan

Cetakan pertama, 2000
Cetakan kedua, 2004

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Puji syukur kami panjatkan kepada Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga revisi buku Bahan dan Struktur Jalan Raya ini dapat diselesaikan.

Buku ini disusun untuk menjadi salah satu pegangan mahasiswa dan mempermudah proses belajar dalam Mata Kuliah Teknik Jalan Raya II. Diktat ini terdiri dari 12 bab yang berisi tentang perkerasan, aspal, agregat dan hal yang terkait dengannya.

Semoga saja buku ini bermanfaat bagi mahasiswa teknik sipil khususnya dan praktisi pada umumnya.

Untuk kesempurnaan buku ini, kritik yang membangun masih diharapkan.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb

Ir. Suprapto Tm, M.Sc.

DAFTAR ISI

Kata Pengantar
Daftar Isi

BAB I	PENDAHULUAN	1
BAB II	PERENCANAAN PERKERASAN	5
BAB III	ASPAL	9
BAB IV	AGREGAT	41
BAB V	PERKERASAN	55
BAB VI	KADAR ASPAL DALAM CAMPURAN	77
BAB VII	ADESI	81
BAB VIII	ANGKA EKUIVALEN	85
BAB IX	INDEX PERMUKAAN DAN INDEX TEBAL PERKERASAN	87
BAB X	JALAN TIDAK BERASPAL	89
BAB XI	TEBAL PERKERASAN	93
BAB XII	PERTEMUAN JALAN	99

DAFTAR PUSTAKA

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Pengertian Perkerasan

Tanah saja biasanya tidak cukup kuat dan tahan, tanpa adanya deformasi yang berarti, terhadap beban roda berulang. Untuk itu perlu lapis tambahan yang terletak antara tanah dan roda, atau lapis paling atas dari badan jalan. Lapis tambahan ini dapat dibuat dari bahan khusus yang terpilih (yang lebih baik), yang selanjutnya disebut *lapis keras/ perkerasan/pavement.*

Mengingat volume perkerjaan jalan, pada umumnya diinginkan perkerasan yang murah, baik yang berkaitan dengan bahan maupun biaya pelaksanaan, namun masih dapat memenuhi tuntutan lalu lintasnya.

Pada mulanya konstruksi perkerasan dikelompokan menjadi perkerasan lentur (*flexible*) dan perkerasan kaku (*rigid*), perkembangan selanjutnya menunjukan bahwa adanya berbagai bentuk perkerasan lain seperti : perkerasan komposit, perkerasan beton presstress, cakar ayam, conblok.

1.2. Lapis-Lapis Perkerasan

1.2.1. Perkerasan Lentur (Flexible Pavement)

Bahan konstruksi perkerasan lentur terdiri atas : bahan ikat (aspal, tanah liat) dan batu. Perkerasan ini umumnya terdiri atas 3 lapis atau lebih yaitu : lapis permukaan, lapis pondasi bawah, yang terletak di atas tanah dasar (subgrade). Berkaitan dengan istilah dalam perkerasan lentur, periksa Tabel 1.1

Tabel 1.1

	USA	UK
Lapis permukaan	Surface course : 1.1. Wearing Course 1.1. Binder Course	Surfacing : 1.1. Wearing Course 1.1. Base Course
Lapis Pondasi	Base Course Subbase Course	Road Base Subbase Course
Tanah Dasar	Subgrade	Subgrade

1.2.2. Perkerasan Kaku (Rigid Pavement)

Perkerasan kaku umumnya terdiri atas dua lapis, yaitu :

- Lapis permukaan : *concrete slab*
- Lapis Pondasi : subbase course, yang diletakan di atas tanah dasar (subgrade)

1.3. Fungsi Lapisan Perkerasan

1.3.1. Lapis Permukaan (LP)

Lapis permukaan adalah bagian perkerasan yang paling atas. Fungsi lapis permukaan dapat meliputi :

a) Struktural :

Ikut mendukung dan menyebarkan beban kendaraan yang diterima oleh perkerasan, baik beban vertikal maupun beban horisontal (gaya geser). Untuk ini persyaratan yang dituntut ialah kuat, kokoh, dan stabil.

b) Non Struktural, dalam hal ini mencakup :

- Lapis kedap air, mencegah masuknya air ke dalam lapisan perkerasan yang ada di bawahnya.
- Menyediakan permukaan yang tetap rata, agar kendaraan dapat berjalan dan memperoleh kenyamanan yang cukup.
- Membentuk permukaan yang tidak licin, sehingga tersedia koefisien gerak (*skid resistance*) yang cukup, untuk menjamin tersedianya keamanan lalu lintas.
- Sebagai lapisan aus, yaitu lapis yang dapat aus yang selanjutnya dapat diganti lagi dengan yang baru.

1.3.2. Lapis Pondasi Atas (LPA) atau Base Course

Lapis pondasi atas adalah bagian dari perkerasan yang terletak antara lapis permukaan dan lapis pondasi bawah (atau dengan tanah apabila tidak menggunakan lapis pondasi bawah).

Fungsi lapis ini adalah :

- Lapis pendukung bagi lapis permukaan.
- Pemikul beban horisontal dan vertikal.
- Lapis perkerasan bagi lapis pondasi bawah.

1.3.3. Lapis Pondasi Bawah (LPB) atau Subbase Course

Lapis pondasi bawah adalah bagian perkerasan yang terletak antara lapis pondasi dan tanah dasar.

Fungsi Lapis ini adalah :

- Penyebar beban roda.
- Lapis peresapan.
- Lapis pencegah masuknya tanah dasar ke lapis pondasi.
- Lapis pertama pada pembuatan perkerasan.

1.3.4. Tanah Dasar (TD) atau Subgrade

Tanah dasar (*subgrade*) adalah permukaan tanah semula, permukaan tanah galian atau permukaan tanah timbunan yang dipadatkan dan merupakan permukaan tanah dasar untuk perletakan bagian-bagian perkerasan lainnya.

BAB II

PERENCANAAN PERKERASAN

2.1. Perencanaan Perkerasan

Perencanaan perkerasan dapat dikelompokan menjadi :

a) Perencanaan tebal perkerasan (*structural pavement design*), yaitu menentukan tebal perkerasan dan bagian-bagiannya, misalnya tebal lapisan permukaan, tebal slab dan lain-lain.
b) Perencanaan bahan lapis perkerasan (*paving mixture design*), yaitu menentukan jenis dan kualitas bahan yang akan digunakan untuk lapis-lapis perkerasan, misalnya : persyaratan aspal, batu, kualitas beton, kualitas beton aspal dan lain-lain.

Untuk menyiapkan perkerasan perlu dipertimbangkan hal-hal sebagai berikut :

a) Kinerja (*performance*) perkerasan
   Hal ini berkaitan dengan lalu lintas, yaitu volume lalu lintas dan beban gandar kendaraan yang akan dilewatinya.
b) Umur dari kinerja atau umur rencana perkerasan
   Umur rencana adalah waktu dalam tahun dihitung sejak perkerasan (jalan) dibuka untuk lalu lintas sampai saat diperlukan perbaikan berat. Selama umur rencana ini, perkerasan diharapkan bebas dari pekerjaan perbaikan berat.
c) Kondisi awal dan kondisi akhir perkerasan
   Yaitu berkaitan dengan kondisi perkerasan (cacat/kerusakan) pada awal umur rencana dan tingkatan kondisi perkerasan yang masih dapat diterima pada akhir umur rencana.

2.2. Beban

Beban- beban yang bekerja pada perkerasan yaitu :

1) Lalu lintas :
   a) Arah vertikal : beban roda (statis dan dinamis)
   b) Arah horisontal : gaya rem, gaya traksi
2) Faktor regional
   Antara lain berupa suhu, jumlah kendaraan berat (lihat tabel 1)

Tabel 1. Faktor Regional

Metode / Unsur	AASHTO	Bina Marga	Asphalt institute	Shell	Road Note 29	Road Note 31	Analitis
1. Topografi	√						
2. Kemiripan dengan lokasi yang diadakan tes	√						
3. Curah hujan	√	√					
4. Penetrasi, pembekuan	√						
5. Temperature	√		√	√			√
6. Muka air tanah	√	√			√	√	
7. Jenis subgrade	√				√	√	
8. Pertimbangan teknis	√						
9. Kondisi drainasi	√				√	√	
10. Jumlah siklus periode pembekuan (*freeze*) dan pencairan (*thaw*) tiap tahunnya	√				√		
11. Tanjakan dengan jumlah truk besar yang besar	√	√					
12. Tempat belok dan tempat henti kendaraan	√	√					
13. Kondisi lalu lintas						√	√

2.3. Umur Rencana

Pada umumnya rencana berkisar antara 5 tahun, 10 tahun, 15 tahun dan 20 tahun.

2.4. Kerusakan Perkerasan

Sejak dibukanya untuk lalu lintas, perkerasan akan menerima beban lalu lintas. Akibat beban tersebut, perkerasan akan mengalami penurunan kinerja dan kualitas, yang berarti perkerasan mengalami kerusakan.

a) Bentuk dasar
   1. Fracture, misalnya : *cracking, spalling*
   2. Distortion, misalnya : *permanent deformation, faulting*
   3. Desintegration, misalnya : *stripping, reveling*

b) Jenis kerusakan yang sering dijumpai (Bina Marga)
   1. Retak (halus, kulit buaya, pinggir, sambungan jalan, sambungan pelebaran, refleksi, susut, selip)
   2. Cacat permukaan (lubang, pelepasan butiran, pengelupasan kulit permukaan)
   3. Perubahan bentuk (alur, keriting, amblas, sungkur, jembul)
   4. Pengausan
   5. Kegemukan
   6. Penurunan di bekas penanaman utilitas

c) Kerusakan pada *unpave road*
   Misalnya : *corrugation, rutting, defective crossfall, lost of surfacing materials.*

d) Kerusakan pada *pave road*
   1. Surface failure : *cracking, stripping/freeting, fatting up of bitumen*
   2. Structural failure : *rutting, cracking and rutting, potholes*

e) Penyebab kerusakan
   1. Lalu lintas (frekuensi pembebanan dan besar beban gandar)
   2. Faktor regional
   3. Tanah dan tanah dasar
   4. Bahan jalan / perkerasan :bahan, perencanaan, pelaksanaan atau pengawasan

2.5. Bahan Perkerasan

Bahan susun lapis perkerasan yang utama adalah berupa :

a) Bahan ikat : tanah liat, aspal/bitumen, portland cement, kapur/lime dan lain-lain
b) Bahan pokok : pasir, kerikil, batu pecah/ agregat dan lain-lain

Dari bahan susun tersebut, dibuatlah bahan lapis perkerasan yang dapat berbentuk :

- *Unbound granuler materials*
- *Cemented materials*
- *Asphalt/asphalt concrete*
- *Cement concrete*

MILIK
Badan Perpustakaan
Propinsi Jawa Timur

BAB III

ASPAL

3.1. Sejarah

Dari sejarah dapat diketahui bahwa aspal, atau asphalt (USA) atau bitumen (Inggris) telah digunakan untuk beberapa keperluan , contoh :

1. Babilonia : aspal digunakan sebagai perekat pada pembuatan tembok
2. Kerajaan Roma : aspal digunakan sebagai bahan pada pekerjaan lantai
3. Mesir : aspal digunakan untuk bahan pengawet jenazah pada raja

Data perkembangan penggunaan aspal di beberapa kota atau negara adalah sebagai berikut :

300 B,C : Egypt, aspal untuk bahan pengawet jenazah raja

1802 : France, aspal untuk bahan lantai, jembatan

1838 : Philadelphia, rock aspal mulai digunakan

1870 : New York dan New Jersey, aspal untuk pengerasan jalan

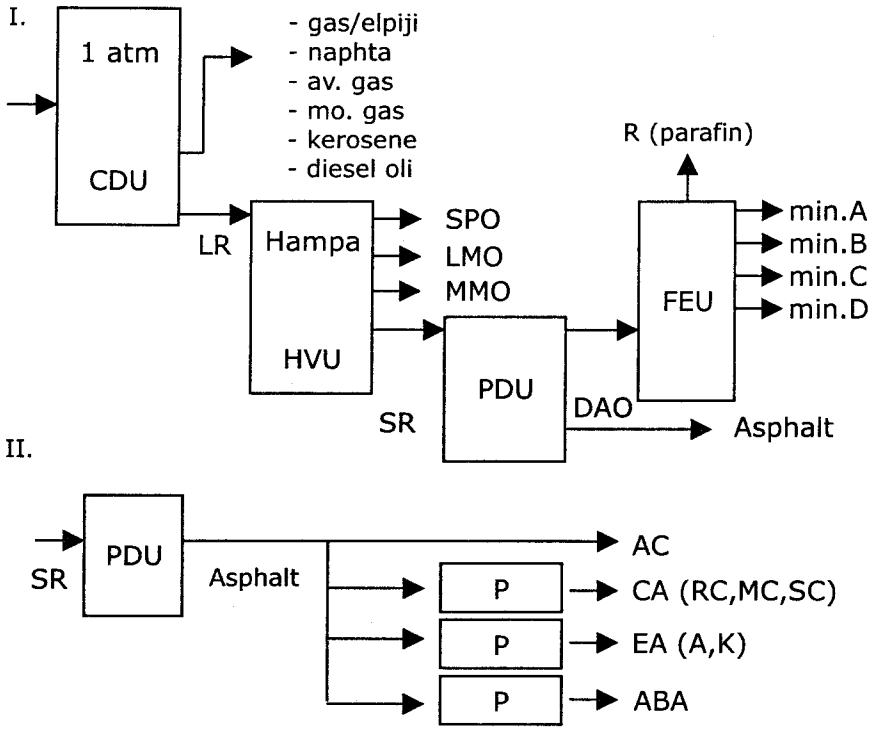
1876 : Washington, aspal untuk pengerasan jalan

1902 : USA, mulai digunakan aspal minyak (asmin)

1926 : Produksi aspal minyak mulai meningkat, karena penggunaannya juga meningkat

3.2. Diagram Proses Penyulingan Minyak Tanah Kasar

Proses Penyulingan Minyak Tanah Kasar



Keterangan :

1. CDU	:	crude deasphalting unit	7. DAO	:	deasphalting oil
2. LR	:	long residu	8. R	:	Raffinate
SR	:	short residu	9. Min.	:	minarek
3. SPO	:	spindle oil	10. P	:	proses
LMO	:	light machine oil	11. AC	:	Asphalt Cemen
MMO	:	medium machine oil	12. CA	:	Cutback Asphalt
4. HVU	:	high vacuum unit	13. EA	:	Emulshified Asphalt
5. PDU	:	propane desphalting unit			
6. FEU	:	furfural extraction unit (mereduksi parafin)			

3.3. Bahan Susun

Aspal merupakan senyawa hydrogen (H) dan carbon (C) yang terdiri dari parafins, naptene, dan aromatics. Bahan-bahan tersebut menbentuk kelompok-kelompok yang disebut :

a. Asphaltenese
Kelompok ini membentuk butiran halus, berdasarkan *aromatic benzene structure* serta mempunyai berat molekul tinggi.

b. Oils
Kelompok ini membentuk cairan yang melarutkan *asphaltenese*, tersusun dari parafins (waxy), *cyclo paraffins* (wax-free), dan *aromatics* serta mempunyai berat molekul rendah.

c. Resins
Kelompok ini membentuk cairan menyelubungi asphaltenese dan mempunyai berat molekul sedang. Selanjutnya gabungan resins dan oils sering juga disebut *maltenese*.

3.4. Jenis Aspal

3.4.1. Aspal Alam

Aspal jenis ini banyak terdapat di alam, contohnya :

1. Lake Asphalt, terdapat di Trinidad, Bermuda. Aspal dari Trinidad ini, jika diurai akan didapatkan bahan-bahan dengan komposisi kurang lebih sbb :
   - 40 % bitumen,
   - 30 % bahan eteris,
   - 25 % bahan mineral,
   - 5 % bahan organik
2. Batu Aspal (*rock asphalt*) di pulau Buton (Sulawesi Tenggara), Aspal ini, yang juga dikenal dengan Butas (*Buton Asphalt*) atau Asbuton (Aspal Batu Buton), terdapat di dalam batu karang, sehingga aspalnya bercampur dengan batu kapur (CaCO3).
   Asbuton pada umumnya tersusun dari :
   - 30 % bahan bitumen
   - 65 % bahan mineral
   - 5 % bahan lain

Proses Terjadinya :

Di daerah yang mengandung minyak bumi (beserta aspal) terjadi gerakan kulit bumi. Gerakan kulit bumi ini menyebabkan terjadinya penurunan dan retak-retak pada kulit bumi. Adanya tekanan di dalam kulit bumi, menyebabkan minyak bumi keluar. Jika tekanan cukup kuat, minyak bumi dapat keluar melalui retak-retak pada kulit bumi, sehingga aspalnya tertinggal di dalam batuan yang dilewatinya.

Untuk kondisi di Pulau Buton ini, dalam perjalanannya, minyak bumi keluar melalui batuan yang porous, sehingga minyak bumi bersama aspal akan menguap ke lapisan batu yang porous dan terjadilah *rock asphalt*. Mengingat proses terjadinya batu aspal ini, maka kadar bitumen yang ada dalam batu aspal tidak merata, dan ini terbukti bahwa pada suatu daerah kadar bitumennya sangat sedikit sedangkan pada daerah yang lain kadar bitumen yang di dapat sangat tinggi.

Klasifikasi

Batu aspal di Pulau Buton ini di dalam eksploitasinya dikelompokkan menurut kadar bitumennya, hal ini dimaksudkan untuk memudahkan penggunaannya dalam pekerjaan jalan.

Pengelompokkan tersebut sbb :

Tabel 3.1

Kelompok	Kadar Bitumen (%)
Asbuton 10 (B 10)	9 - 11
Asbuton 13 (B 13)	11,5 - 14,5
Asbuton 16 (B 16)	15 - 17
Asboton 20 (B 20)	17,5 - 22,5
Asbuton 25 (B 25)	23 - 27
Asbuton 30 (B 30)	27,5 - 32,5

Pada asbuton ini jumlah bahan selain bitumen dapat mencapai lebih dari 80% yang berupa kapur dan pasir. Mineral yang terkandung dalam kapur dan pasir tersebut antara lain :

Tabel 3.2

Mineral	Kandungan (%)
Kalsium Karbonat ($CaCO_3$)	81,62 - 85,27
Magnesium Karbonat ($MgCO_3$)	1 ,98 - 2,25
Kalsium Sulfat ($CaSO_4$)	1,25 - 1,7
Kalsium Sulfida (CaS)	0,17 -0,33
Air Kablen/ hablur/ kristal	1,3 - 2 15
Silikat Oksida (SiO_2)	6,95 - 8,25
Alumunium Oksida (Al $_2O_3$) dan Feri Oksida (Fe_2O_3)	2,15 - 2,84
Sisa	0,83 -1,12

Bahan susun asbuton terdiri dari :

1. *Asphaltenese* : 68,42%
2. Maltenese : 31,58% meliputi : nitrogen bases 17%, acidaffins I 5,48%, acidaffins II 4%, paraffins 4,88%

Sifatnya :

1. Mudah menyerap air, untuk pekerjaan jalan kadar air yang dianjurkan maksimum 10%.
2. Pengaruh panas
   Seperti halnya pada aspal, batu aspal ini jika dipanasi akan berubah sifatnya, yaitu dari keadaan keras menjadi plastis. Sampai pada suhu 30° Celcius, batu aspal masih bersifat rapuh dan mudah dipecah, sehingga jika diinginkan butiran batu aspal yang lebih kecil, pemecahan bongkah batu aspal harus dilakukan pada suhu rendah. Sedangkan pada suhu 40° - 60° Celcius batu aspal bersifat agak plastis dan sukar pecah. Bila suhu mencapai 100° - 150° Celcius, batu aspal akan hancur (Jawa : ambyar) dan akan mulai terbakar pada suhu 250° Celcius.
3. Sebagai bahan jalan
   a. *Maltanese* : dapat diperbanyak dengan menambah pengecer atau aspal minyak.
   b. *Penetrasi* : nilainya 3,25 akan naik berbanding lurus dengan jumlah pengecer maupun waktu. Contoh bila pengecer 35% (bitumen 65%) penetrasi akan naik menjadi 50,75.

c. *Daktilitas* : nilainya akan naik berbanding dengan pengencerannya.

Bahan Pelunak

Untuk mengeluarkan bitumen dari dalam butiran asbuton, perlu ditambahkan bahan pelunak/pengencer. Bahan pelunak ini dapat berupa:

1. flux oil (dianggap mengandung bitumen 34%)
2. bunker oil/minyak bakar (dianggap mengandung bitumen 45%)
3. campuran solar dan aspal semen (1:1)
4. aspal cair, Slow Curing 70 (SC 70)

Jumlah berat bahan pelunak yang dibutuhkan sebanyak 3 - 5 % berat asbuton kering.

Usaha Pemanfaatan

Pemanfaatan buton selama ini telah diusulkan semaksimal mungkin. Usaha tersebut antara lain berupa perbaikan atas karakteristik bitumen dan atau bahan pengisinya. Beberapa contoh usaha pemanfaatan asbuton:

a. Asbuton mikro
b. Buton Epuro (BE)
c. Butomic Mastic Aspal (BMA)
d. Refined Asbuton (Retona)

3.4.2. Aspal Minyak

Aspal atau bitumen merupakan campuran dari hidrogen (H) dan Carbon (C) yang sangat kompleks.

Bahan Dasar Aspal

1. Dari bahan hewani (animal origin), yaitu diperoleh dari pengolahan crude oil. Dari prosese pengolahan minyak tanah kasar akan diperoleh bahan bakar dan residu, yang jika diproses lanjut akan diperoleh aspal/bitumen.
2. Dari bahan nabati (vegetable origin), yaitu diperoleh dari pengolahan batu bara/coal, dalam hal ini akan diperoleh tar.

Perbedaan yang nyata dari kedua aspal tersebut adalah pada bau. Untuk tar (dari coal) berbau,sedangkan bitumen tidak berbau. Berdasarkan atas dua bahan tersebut timbul bahan yang merupakan campurannya, yaitu antara lain :

1. *Pitch - bitumen blend*, campuran antara tar dan bitumen, misalnya dengan perbandingan 25/75, 20/80.
2. *Tyrinidad lake Asphalt-residual bitumen blend*, misalnya dengan perbandingan 50/50, 40/60.
3. *Cutback bitumens.*
4. *Fluxed tars.*
5. *Bitumen emulsion.*

Aspal Minyak

Aspal yang diperoleh dari minyak bumi sering juga disebut aspal minyak (asmin), aspal murni atau *petroleum asphalt.*

Didalam proses penyaringan *crude oil*, tidak semua *crude oil* dapat menghasilkan aspal. Hal ini tergantung jenis *crude oil*-nya, seperti ditunjukkan dalam table berikut :

Tabel 3.3

Jenis	Keterangan
Asphaltic base crude oil	Dapat menghasilkan aspal
Paraffinic base crude oil	Dapat menghasilkan parafin
Mixed base crude oil	Dapat menghasilkan aspal dan parafin (karena kadar yang dikandungnya sama)

Jenis Pengolahan

Untuk mendapatkan aspal, jenis pengolahan yang sering dipakai adalah :

1. *Vacum and steam refining process*
   Proses ini menggunakan prinsip penguapan dan destilasi. Minyak tanah kasar dipanasi terus menerus sehingga terjadi penguapan. Dengan membedakan atas berat jenisnya, uap yang timbul didinginkan sehingga terjadilah bahan minyak. Sisa material yang ada adalah merupakan bahan aspal, dan dengan proses tertentu (*vacum tower* → bahan aspal dialiri uap suhu 275° Fahrenheit) akan menghasilkan aspal asli yang berupa cairan dan selanjutnya akan memiliki kekerasan tertentu yang nantinya disebut aspal semen (*asphaltic cement*).

2. *Solvent diasphalting process*
   Dari sisa material yang ada, pada pelaksanaan proses tertentu (*vacuum tower*) diberikan tambahan propane (C_3H_8), sehingga terjadilah aspal semen. Proses ini sering disebut *propane diasphalting process.*

Jenis Aspal Semen

Ada beberapa jenis, yaitu dibedakan menurut kekerasannya.

Tabel 3.4

Jenis	Keterangan
AC 40 - 50 AC 60 - 70 AC 85 - 100 AC 200 - 300 dan lain-lain	AC menunjukkan Asphalting Cement dan angka yang ada dibelakangnya menunjukkan besarnya penetrasi, yaitu masuknya jarum penetrasi (dalam tes penetrasi) dengan beban 100 gr pada suhu 25° Celcius selama 5 detik.

Persyaratan umum aspal semen adalah :
1. AC berasal dari hasil minyak bumi.
2. Aspal harus mempunyai sifat yang sejenis.
3. Kadar parafin dalam aspal tidak melebihi 2%.
4. Tidak mengandung air dan tidak berbusa jika dipanaskan sampai 175° Celcius.

Penggunaan

Karena keadaan yang solid tersebut,maka di dalam penggunaanya aspal perlu dipanasi terlebih dahulu, contoh : pada pembuatan beton aspal campuran panas (*hot mix*). Dengan pemanasan maka tingkat kekerasan (konsistensi) aspal akan berubah. Bahan yang konsistensinya verubah dengan berubahnya suhu disebut bahan *thermoplastic,* dan aspal termasuk ke dalam kelompok ini.

Proses Tambah

Dengan adanya aspal semen, untuk memenuhi kebutuhan pelaksanaan konstruksi tertentu kadang-kadang masih mengalami kesulitan. Maka untuk itu diusahakan adanya jenis aspal baru yang dapat mengatasi kesulitan serta dapat memenuhi kebutuhan. Jenis aspal

tersebut dapat diwujudkan dengan cara memberikan proses tambah terhadap aspal semen. Secara skematis adalah sbb :

aspal semen (asli) —(proses tambah)→ Jenis aspal baru dengan sifat dan wujud yang berbeda

Proses tambah yang dapat diberikan ada beberapa macam :
1. Dipanasi
   Proses tambah ini dilakukan dengan cara aspal asli dipanaskan dengan temperatur tinggi, dan dalam keadaan ini aspal juga dihembusi udara dengan suhu tinggi. Proses ini disebut proses hembusan udara panas (*air blowing process*) dan menghasilkan aspal yang disebut *air blown asphalt.*
   Sifat aspal :
   Kepekaan aspal terhadap temperatur agak berkurang. Untuk meningkatkan kekurangpekaan aspal dapat diusahakan dengan menambah jumlah udara yang dihembuskan. Hal ini terjadi karena rangkaian Carbon (C) menjadi semakin panjang akibat lepasnya unsur Hidrogen (H) yang selanjutnya berubah menjadi air (H_2O) karena adanya O_2. Penggunaanya sebagai pelapis atap.
2. Ditambah bahan kimia
   Setelah aspal dipanasi seperti pada butir 1, kemudian ditambah dengan bahan kimia dan terbentuklah *epoxy asphalt.*
3. Ditambah pengencer
   Aspal asli akan larut dalam minyak yang berasal dari minyak tanah kasar. Sifat ini dimanfatkan untuk mengubah aspal asli yang solid menjadi aspal cair (*cutback asphalt*).
   Contoh :
   a. AC + gasoline → *rapid curing liquid asphalt (RC)*
   b. AC + kerosene → *medium curing liquid asphalt (MC)*
   c. AC + diesel oil → *slow curing liquid asphalt (SC)*

Jenis

Aspal cair dibedakan menurut kekentalannya. Cara mengukur kekentalan ada 2 cara, yaitu :
1. Cara lama
   Kekentalan aspal dinyatakan dengan *Saybolt Furol Viscosity*, diukur pada suhu 140° Farenheit dengan satuan detik yaitu menyatakan

MILIK
Badan Perpustakaan
Propinsi Jawa Timur

waktu yang diperlukan untuk mengisi botol 60 ml dengan pipa diameter 1/8 inch. Jenis aspal dibedakan dengan memberikan indeks dari 0 - 5.

Tabel 3.5

Indeks	Kekentalan
0	15 – 30
1	45 – 90
2	100 – 200
3	250 – 500
4	500 – 1200
5	1500 – 3500

Dengan demikian akan didapat aspal cair :

RC0	RC1	RC2	RC3	RC4	RC5
MC0	MC1	MC2	MC3	MC4	MC5
SC0	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5

2. Cara baru
   Kekentalan aspal dapat dinyatakan dengan kekentalan kinematik (*kinematic viscosity*) yang diukur dengan viscosimeter pada suhu 140° Farenheit dengan satuan *centistoke*. Jenis aspal dibedakan dengan cara membedakan indeks sesuai dengan kekentalannya.

Tabel 3.6

Indeks	Kekentalan (cst)
30	30 – 60
70	70 – 140
250	250 – 500
800	800 – 1600
3000	3000 – 6000

Dengan demikian akan didapat aspal cair sbb :

RC30	RC70	RC250	RC800	RC3000
MC30	MC70	MC250	MC800	MC3000
SC30	SC70	SC250	SC800	SC3000

Penggunaan

Aspal jenis ini umumnya dipakai pada :

a. pekerjaan coating (misalnya : *priming, tacking*)
b. pembuatan beton aspal campuran dingin (cold mix)

Persyaratan umum aspal cair

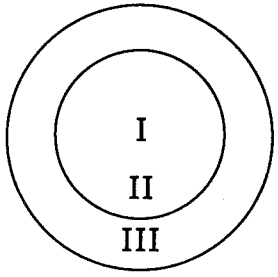
1. Aspal cair harus berasal dari minyak bumi.
2. Aspal harus mempunyai sifat yang sejenis.
3. Kadar parafin dalam aspal lebih kecil dari 2%.
4. Jika dipanaskan tidak menunjukkan adanya pemisahan atau penggumpalan.

3.4.3. Aspal Emulsi (Emulsified Asphalt)

Bahan : aspal, air, dan bahan tambah (*agent*).

Proses : Pada dasarnya aspal dan air tidak mau bercampur. Jika kedua bahan tersebut dicampur maka bahan yang satu (aspal) didispersikan dalam bahan-bahan kedua (cairan/air), dalam bentuk butiran-butiran halus. Agar bahan yang telah dicampur itu dapat bertahan yaitu butiran aspal tidak berkumpul dan menggumpal maka perlu ditambah bahan lain yaitu *surface active agent* (bahan pengemulsi).

Adanya bahan tambah tersebut, dapat ditunjukkan sebagai berikut :



I. Butiran bitumen
II. Bahan tambah
III. Air

Bahan tambah itu berada pada bagian II, yaitu memisahkan antara bitumen dan air.

Jenis

Dengan diberikannya bahan tambah maka pada butiran bitumen akan bermuatan listrik. Sehingga untuk bahan tambah ada dua jenis, yaitu :

1. Yang memberi muatan listrik negatif, disebut emulsi negatif atau *anionic*. Contoh bahan tambah yaitu Natrium Oleat.
2. Yang muatan listrik positif disebut emulsi positif atau *cationic*. Contoh bahan tambah yaitu memberikan *amine*.

Dari bahan tambah tersebut, maka jenis aspal emulsi dapat dibedakan menjadi :

a. Aspal emulsi anionic
b. Aspal emulsi cationic

Tabel 3.7

Jenis	Sifat
RS CRS A1 K1	Rapid breaking (bentuk dispersi cepat hilang bila menyentuh batu) bersifat labil (RS/CRS type)
MS CMS A2 K2	Medium breaking, bersifat semi stabil (MS/CMS type)
SS CSS A3 K3 A4 K4	Slow breaking, bersifat stabil (SS/CSS type)

Penggunaan

Daya lekat antara aspal emulsi dan permukaan batu/jalan, sangat tergantung dari proses penguapan air dan reaksi kimia antara kedua permukaan yang bersentuhan tersebut.

1. *Aspal emulsi anionik*
   Reaksi kimia pada kedua permukaan akan berjalan dengan baik apabila batunya bermuatan positif (contoh batu : *limestone, dolomites, lateritc gravel*). Dan proses coating dapat berjalan setelah penguapan air berjalan.
2. *Aspal emulsi kationik*
   Mengingat adanya muatan listrik positif pada butiran bitumen, maka daya ikat dengan batu yang bermuatan negatif sangat besar walaupun masih ada selaput air.

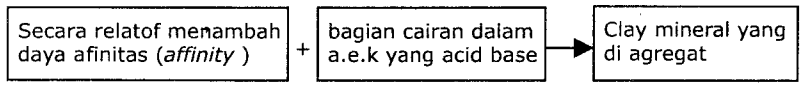
Secara teori aspal emulsi kationic sangat cocok dengan batu yang bermuatan listrik negatif, namun kenyataannya aspal emulsi kationik sangat cocok untuk kedua jenis batu tersebut (yang bermuatan positif maupun bermuatan negatif).

Hal ini dapat dijelaskan sbb :

1. Adanya energi yang hilang (*Van der Waal's force*) pada aspal emulsi kationik, dan mampu mengusir selaput air yang mengelilingi batu.
2. Aspal emulsi kationik diproduksi dalam cairan yang agak asam yaitu HCl atau acetic acid, sehingga ada bagian yang netral yaitu CO_3, yang membantu dalam membentuk ikatan yang kuat.

$$CaCO_3 + 2HCl \longrightarrow CO_3 + H_2 + CaCl_2$$

Bagian netral

3. 

Mengingat sifat aspal emulsi kationik tersebut, maka tingkat *labilitas emulsi* (*rate of break*) dapat dinaikkan dengan cara :

a. Menambah kadar bitumen dalam aspal emulsi.
b. Menurunkan kadar bahan tambah.
c. Memberikan bahan tambah yang lebih baik/kuat.
d. Dituangkan pada batu yang mempunyai permukaan kasar.
e. Dituangkan pada batu yang bersih.
f. Dituangkan pada batu yang bermuatan negatif.
g. Menurunkan pH aspal emulsi.

Sebaliknya jika ingin memperlambat proses ikatan (*rate of break*), dapat dilakukan dengan menambah $CaCl_2$.

Kelebihan dan kekurangan aspal emulsi :

a. Kelebihan
   1. Tidak ada bahaya kebakaran.
   2. Tidak ada polusi.
   3. Stif bitumen (bitumen keras) dapat diperoleh dalam keadaan cair.

4. Cocok untuk pekerjaan yang relatif kecil dengan *unskilled labour.*
5. Dan lain-lain.

b. Kekurangan.
1. Fungsi aspal baru bekerja dengan baik setelah air yang ada menguap.
2. Cocok untuk agregat yang *open grading.*
3. Dan lain-lain.

3.4.4. Aspal Karet (asret)

Aspal karet ini diperoleh dengan cara menambahkan karet pada aspal minyak. Aspal yang dapat digunakan dapat berupa aspal semen, aspal cair atau aspal emulsi, sedangkan karetnya dapat berupa karet butiran, karet padat ataupun karet cair.

Proses pencampurannya :

a. Langsung, yaitu antara aspal cair dan karet cair pada suhu 160° C
b. Masterbatch, aspal cair dan karet padat dicairkan pada suhu 160° C

Sifat asret

Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa sifat asret pada beberapa unsur pengamatan lebih baik dibanding dengan aspal semula.

3.5. Bahan Tambah (*Additive*)

Semakin meningkatnya beban perkerasan, dituntut bahan lapis keras yang lebih baik dalam arti lebih mampu meneruskan dan menyebarkan beban kelapis yang ada dibawahnya. Untuk itu salah satu usahanya adalah meningkatkan kualitas aspal dengan menambahkan additive. Dengan tambahan additive tersebut karakteristik aspal sebagai bahan ikat akan lebih baik, antara lain :

a. viskositas meningkat
b. tingkat keplastisan meningkat (rentang antara titik lembek *traas breaking point*)
c. kohesi bitumen meningkat
d. ketahanan terhadap deformasi permanen meningkat
e. ketahanan terhadap kelelahan pada suhu rendah meningkat
f. kerentanan bitumen terhadap panas menurun
g. proses oksidasi bitumen menurun

Bahan additive yang ada dewasa ini antara lain :

a. serat cellulosa
b. latex dan polyolefin
c. styreme butadiene stryrene
d. ethylene vinyl acetate
e. atactive poly propylene

3.6. Klasifikasi Tanah

1. DASAR

a) Penetrasi → dari uji penetrasi yaitu jarum penetrasi dengan beban 100 gr, selama 5 detik pada suhu 25° C masuk ke dalam aspal diukur dalam satuan 0.1 mm.

b) Kekentalan → dari uji kekentalan.

1). Sabolt Furol (SF)
Aspal suhu 60° C mangalir melalui pipa 1/8" untuk mengisi, labu dengan volume 60 ml. Waktu pengisian menunjukkan kekentalan SF (detik).

2). Kinematis → dengan satuan Centi Stokes (cst)

3). Satuan cgs → 1 gr/cb-sec, atau 1 dyne-sec/cm^3, disebut poise (P)
S 1 unit → 1 pa-s (1N-s/m^2) disebut 10 P

4). Thin Film Oven Test → Kehilangan berat aspal dalam % berat Rolling Thin Film Oven -- Karakteristik aspal setelah RTFO test untuk menentukan grading aspal semula dalam AR (age residue) viscosity gradel series.

2. KLASIFIKASI ASPAL

a) Penetrasi →

AC 40 – 50 AC 60 – 70 AC 85 – 100 AC 120 – 150 AC 200 – 300	Angka menunjukkan masuknya jarum penetrasi (100 gr/5 det./0,1 mm)

BS 3690

pen. 15 5 pen. 25 5 pen. 35 7 pen. 40 10 pen. 50 10	pen. 70 10 pen. 100 20 pen. 200 30 pen. 300 45 pen. 450 65

b) Kekentalan →

AC 2,5 AC 5 AC 10 AC 20 AC 40	Asphalt Cement – angka menunjuk-kan kekentalan pada 60° C (140°) dalam satuan 100 – an poises. (toleransi 20%)
AR 1000 AR 2000 AR 3000 AR 4000 AR 8000 AR 16000	Age Redidue – angka menunjukkan kekentalan setelah uji RTO pada suhu 60° C (140° F) dalam satuan poises. (toleransi 25%)

c)

Aspal Cair →			Angka menunjukan kekentalan dalam satuan cst pada suhu 60°C
Rapid Curing (RC)	30	0	
Medium Curing(MC)	70	1	
	250	2	
Slow Curing (SC)	800	3	
	3000	4	
		5	

d) Aspal Emulsi
Aspal Emulsi Anionic (-)
Aspal Emulsi Cationic (+)
Aspal Non Ionic (netral)

Tabel 3.8

Anionic	Cationic	BM		
RS – 1	CRS – 1	MC – 1	MCK – 1	C = cationic/cepat
RS – 2	CRS – 2	MC – 2	MCK – 2	R = rapid
MS – 1	-	MC – 1	MSK – 1	M = medium/mengendap
MS – 2	CMS – 2	MC – 2	MSK – 2	S = slow/sedang
MS – 2h	CMS – 2h	MS – 2K	MSK – 2h	S = setting
	CMS – 2s			h = harder base asphalt
HF MS – 1	-	-	-	HF = hot float (diukur dengan float test, dimungkinkan penggunaan film aspal tebal)
HF MS – 2	-	-	-	
HF MS – 2h	-	-	-	
HF MS – 2s	-	-	-	s = solvent (mora solvent than the others)
SS – 1	CSS -1	ML – 1	MLK – 1	K = Kationic/kental
SS – 1h	CSS – 1h	ML – 1K	MLK – 1h	

e) Performance Grade Asphalt
(Superior Performing Asphalt Pavement Superpave)

PG 46 (-34, -40, -46) PG 52 (-10, -16, -22, -34, -40, -46) PG 58 (-16, -22, -28, -34, -40) PG 64 (-10, -16, -22, -28, -34, -40) PG 70 (-10, -16, -22, -28, -34, -40) PG 76 (-10, -16, -22, -28, -34) PG 82 (-10, -16, -22, -28, -34)	- Angka depan : suhu maksimum perkerasan - Angka belakang : suhu minimum perkerasan - Pengujian aspal 1. titik nyala (°C) 2. kekentalan (Cp) 3. DSR (°C) 4. PAV (°C) 5. DTT (°C) 6. RTFO residu (%) 7. TFO residu (%) 8. Creep stiffness (°C)

$T_{20\,mm}$ = $(T_{air}0{,}00618\,Lat.^2+0{,}2289\,Lat.+42{,}2)\,(0{,}9545)\;17{,}78$

T_{min} = $0{,}859\,T_{air}+1{,}7°C$

$T_{20\,mm}$ = Suhu rencana perkerasan tertinggi, suhu 20 mm di bawah permukaan perkerasan

T_{air} = Suhu udara tertinggi rerata, 7 hari (°C)
Suhu terendah rata-rata tahunan

Lat. = lokasi perkerasan di garis lintang (°C)

Tabel 3.9
Acuan Persyaratan Aspal Keras (sumber : AASHTO M 20 – 70 1990)

Jenis Pengujian Aspal Keras	Persyaratan											
	AC 40-50		AC 60-70		AC 85 - 100		AC 120 - 150		AC 200 - 300	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Sebelum Kehilangan Berat										
1. Penetrasi (0,1 mm)	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
2. Titik Nyala (° F)	450	-	450	-	450	-	425	-	350	-
3. Daktilitas (cm)	100	-	100	-	100	-	100	-	-	-
4. Titik Lembek	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5. Viskositas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6. Kelarutan dalam CCl_3 %	99		99		99		99		99	
7. Pelekatan dengan agregat (%)	95+	-	95+	-	95+	-	95-	-	95-	-
8. Berat Jenis	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

9. Suhu pencampuran	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10. Suhu pemadatan	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Setelah Kehilangan Berat										
11. Persentase kehilangan berat	-	0.8	-	0.8	-	1.0	-	1.3	-	1.5
12. Penetrasi	58	-	54	-	50	-	46	-	40	-
13. Titik nyala (° C)										
14. Daktilitas (cm)	-	-	50	-	75	-	100	-	100	-
15. Titik lembek	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16. Berat jenis	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17. Kelarutan dalam CCl_4 %	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18. Pelekatan dengan agregat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabel 3.10.

Acuan Persyaratan Aspal Keras (sumber : AASHTO M 226 – 80 1990)

Jenis Pengujian Aspal Keras	**Persyaratan**									
	AC – 2.5		AC – 5		AC – 10		AC – 20		AC – 40	
Kekentalan 60° C, poises	250± 50		500± 100		1000± 200		2000± 400		4000± 800	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Sebelum kehilangan berat										
1. Viskositas, 135 °C,Cs-min	80	-	110	-	150	-	210	-	300	-
2. Penetrasi (0.1 mm)	200	-	120	-	70	-	40	-	20	-
3. Titik nyala (° C)	163	-	177	-	219	-	232	-	232	-
4. Daktilitas (cm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5. Titik lembek	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6. Kelarutan dalam CCl_4 %	99	-	99	-	99	-	99	-	99-	
7. Pelekatan dengan agregat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8. Berat jenis	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9. Suhu pencampuran	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10. Suhu pemadatan	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Setelah kehilangan berat										
11. Viskositas 60°C	-	1000	-	2000	-	4000	-	8000	-	16000
12. Persentase kehilangan berat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13. Penetrasi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14. Titik nyala (°C)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15. Daktilitas (cm)	100	-	100	-	50	-	20	-	10	-
16. Titik lembek	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17. Berat jenis	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18. Kelarutan dalam CCl_3 %	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19. Pelekatan dengan agregat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabel 3.11

Acuan Persyaratan Aspal Keras (sumber : BS 3690)

Jenis Pengujian Aspal	Persyaratan									
	15 pen	25 pen	35 pen	40 pen	50 pen	70 pen	100 pen	200 pen	300 pen	450 pen
Sebelum kehilangan berat										
1. Penetrasi (0.1mm)	15± 5	25± 5	35± 7	40± 10	50± 10	70± 10	100± 20	200± 30	300± 45	450± 65
2. Titik nyala (°C)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3. Daktilitas (cm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4. Titik lembek (°C)										
min.	63	57	52	58	47	44	41	33	30	25
max.	76	69	64	68	58	54	51	42	39	34
5. Viskositas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6. Kelarutan dalam CCl_2%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7. Pelekatan dengan agregat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8. Berat jenis	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9. Suhu pencampuran	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10. Suhu pemadatan	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Setelah kehilangan berat

11. Persentase kehilangan berat (%) max.	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.5	0.5	1.0	1.0	1.0		
12. Penurunan penetrasi (%)max.	20	20	20	20	20	20	20	25	25	25		
13. Titik nyala (°C)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
14. Daktilitas (cm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
15. Titik lembek	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
16. Berat jenis	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
17. Kelarutan dalam CCl_2 %	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5		
18. Pelekatan dengan agregat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		

3.7. Pemeriksaan Aspal

1. P. Penetrasi bitumen (100 gr, 25°C, 5 detik,0.1 mm)
2. P. Titik nyala (COC)
3. P. Titik bakar
4. P. Titik lembek
5. P. Kehilangan berat/LOH (163°V, 5 jam)
6. P. Kelarutan dalam CCl_4
7. P. Daktilitas
8. P. "Fraas Breaking Point"
9. P. Berat jenis
10. P. Kekentalan (Kinematik dan Saybolt furol)
11. P. Destilasi aspal cair
12. P. Kelekatan aspal
13. P. Rolling Thin Film Oven (RTFO)
14. Pressure Aging Vessel (PAV)
15. Dynamic Shear Rheometer (DSR)
16. Rotational Viscometer (VR)
17. Bending Beam Rheometer (BBR)
18. Direct Tension Tester (DTT)
19. Dan lain-lain

3.8. Persyaratan Aspal Sebagai Bahan Jalan

Beberapa persyaratan aspal sebagai bahan jalan adalah sbb :

a. Kekakuan /kekerasan/*stiffness*
   Setelah berfungsi sebagai bahan jalan aspal yang dipilih harus mempunyai stiffness yang cukup.
b. Sifat mudah dikerjakan/*workability*
   Aspal yang dipilih haruslah mempunyai *workability* yang cukup dalam pelaksanaan program pengaspalan. Hal ini akan mudah pelaksanaan penggelaran bahan tersebut dan juga memedahkan dalam memadatkan untuk memperoleh lapis yang padat kompak.

   Dari sudut *workability* ini usaha yang dapat dilaksanakan adalah
   1. pemanasan/*heating*
   2. ditambah pengencer
   3. ditambah bahan pengemulsi

Untuk menggunakan aspal cair dan aspal pengemulsi perlu memperhatikan waktu dan cuaca yang tepat, campuran cukup permeable, lapis penggelaran yang tidak terlalu tebal sehingga proses *volatisation* dan *evaporation* masih dapat berlangsung. Oleh karena itu untuk kedua aspal ini umumnya digunakan pada kondisi lalu lintas ringan atau juga untuk pekerjaan *surface dressing, tack coat,* dan *slurry seals.*

c. Kuat tarik/*tensilestrength* dan adesi/*adhesion*
Aspal yang digunakan harus memiliki kuat tarik dan adesi yang cukup. Sifat ini sangat diperlukan agar lapis perkerasan yang dibuat akan tahan terhadap :
   1. retak/*cracking* (ditambah oleh kuat tarik).
   2. pengulitan/*freeting/stripping* (ditaha oleh adesi)
   3. goyah/*raveling* (ditahan oleh kuat tarik adesi)

d. Tahan terhadap cuaca
Sifat ini diperlukan agar aspal tetap memiliki tahanan terhadap perubahan cuaca, misalnya konsistensi tidak banyak berubah akibat cuaca, sehingga kondisi permukaan jalan, misalnya konsistensi gesek/*skid resistance*, dapat memenuhi kebutuhan lalu lintas serta tahan lama/*durable*.

3.9. Sifat Kimia dan Fisik aspal

3.9.1. Kekentalan/viscosity

Kekentalan aspal akan dipengaruhi oleh :

1. ***Temperatur***
Dengan naiknya temparatur maka kekentalan aspal akan menurun. Hal ini disebabkan oleh energi termal/*thermal energy* meningkat dan melarutkan *asphaltenese*-nya ke dalam oils. *Aromatic mineral oils* mempunyai daya pelarut asphaltenese yang lebih besar disbanding dengan *paraffinic mineral oils*, sehingga aspal yang berasal dari *aromatic based bitumen* cenderung bersifat lebih peka terhadap perubahan suhu (*higher temperature suscepability*) bila dibandingkan dengan *paraffinic based bitumen.*

Tabel 3.12

Aromatic based bitumen	Paraffinic based bitumen
asphaltenese	asphaltenese
aromatic mineral oils	paraffinic mineral oils
resins	resins

2. ***Lama pembebanan***
Jika dikaitkan dengan lalu lintas maka pembebanan yang lama akan terjadi pada lalu lintas dengan kecepatan yang rendah atau sebaliknya. Menurut Shell, dengan semakin lama pembebanannya maka aspal yang semula versifat elastik akan bersifat lebih *viscos*.

3. ***Waktu (effect of time)***
Hal ini berkaitan dengan sifat aspal yang tahan lama sebagai jalan aspal. Apabila aspal dibiarkan dalam keadaan yang tidak /jarang sekali mendapat beban, ternyata kekentalan aspal akan naik. Perubahan kekentalan ini sebanding dengan waktu, dan terjadi pada komposisi kimia yang tepat (*thixotropy*). Thixotropy ini dapat dihilangkan dengan cara memberikan tegangan/beban atau pemanasan pada aspal tersebut.
Kekentalan bitumen umumnya diukur dengan :
   a. Penetrasi (*penetrasi test*)
   b. Titik lembek/*softening point* (*ring and ball test*)
   c. Uji kekentalan

3.9.2. Penetration Index. (PI)

Pada mulanya PI dikenalkan oleh Pfieffer dan Van Doormal dengan persamaan :

$$\frac{d.\log.pen}{d.T} = \frac{1}{50} \times \frac{20 - PI}{10 + PI} \qquad \text{(Pers. 1)}$$

Menurut Ptieffer dan Van Doormal, dari hasil pengukuran penetrasi, banyak aspal menunjukkan bahwa penetrasi pada suhu yang didapat dari ring and ball test sebesar 800.
Sehingga persamaan tersebut menjadi :

$$\frac{\log.800-\log.pen.1}{T(RB)-TI}=\frac{1}{50}\times\frac{20-PI}{10+PI} \qquad \text{(Pers. 2)}$$

Titik lembek dapat diukur menurut :
1. ASTM D 36, atau
2. The Institute of Petroleum, (IP) dengan koreksi:

$$SP_{ASTM} = SP_{IP} + 1{,}5\ (^{\circ}\text{Celcius})$$

Persamaan ini kemudian dikembangkan oleh Van der Poel, menjadi :

$$A=\frac{1}{50}\times\frac{20}{10}\frac{PI}{PI} \qquad PI=\frac{20-500A}{50A+1}$$

Selanjutkan dibuatkan nomogram untuk hitungan PI & stiffness oleh Van der Poel. Nomogram tersebut cocok untuk aspal yang berkandungan wax/paraffin ≤ 2 % (berat).
Untuk aspal lainnya Hitungan PI menggunakan persamaan 1, yang dapat ditulis dalam bentuk sbb :

$$\frac{\log.pen.2-\log.pen.1}{T2-T1}=\frac{1}{50}\times\frac{20-PI}{10+PI}$$

Klasifikasi aspal berdasar PI

Tabel 3.13

Sumber/asal	Jumlah aromatic (%)	PI	Rheological properties
1. Blown	15	≥2	· Rubbery · low temp. suscep'y
2. Steam refined / Solven't exte'n	25	-2≤ PI ≤+2	· normal · medium temp. suscep'y
3. Cracked	50	≤-2	· brittle · high temp. suscep'y

3.9.3. Kekakuan Aspal (Stiffness/modulus of bitumen)

Dengan analogi hokum Hooke, kekakuan aspal dapat dinyatakan sbb:

$$S(E)_{aspal}=\frac{tensilstresses}{tensilestrain}=\frac{T}{E}$$

Karena aspal dapat berada pada kondisi elastis maupun viskus, strain aspal juga dapat berada di daerah elastis maupun daerah viskus. Kondisi aspal ini sangat tergantung pada lama pembebanan dan suhu. Akibatnya kekakuan aspal juga dipengaruhi oleh lama pembebanan dan suhu.

Tabel 3.14

Lama pembebanan	Suhu	Sifat
Singkat	Rendah	Elastik
Sedang	Sedang	Visko-elastik
Panjang	Tinggi	Viskus

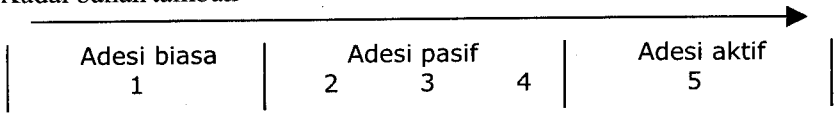
3.9.4. Kuat Tarik (tensile strength)

Kuat tarik aspal juga dipengaruhi oleh temperature dan lama pembebanan. Kuat tarik aspal ini akan lebih nampak nyata pada suhu rendah. Untuk mengetahui kuat tarik aspal dapat dilakukan percobaan titik pecah Fraass (*Fraass breaking test*).

3.9.5. Adesi (adhesion)

Adanya daya adesi ini dapat dijelaskan dengan mengacu pada aspal emulsi kationik, yaitu aspal yang diberi tambahan amine.
Tambahan bahan (*amine*) yang semakin bertambah banyak akan berakibat :
1. Perkembangan daya adesi dari adesi biasa, adesi pasif dan adesi aktif.
2. Perkembangan daya luar yang timbul dari tidak ada, kecil, sedang, dan besar.

Sedangkan besarnya daya adesi juga dipengaruhi oleh jenis bahan tambahannya.
Kadar bahan tambah



Keterangan :
1. Daya adesi lemah sehingga air mampu mengusir film aspal tanpa perlu bantuan daya dari luar.
2. Ada daya adesi, tetapi daya ini akan hilang bila ada gaya luar walaupun gaya luar itu cukup lemah.
3. Daya adesi sedang, dan aspal mampu menahan air walaupun disertai adanya gaya luar yang cukup besar.
4. Daya adesi besar, dan aspal mampu menahan air walaupun disertai adanya gaya luar yang kuat.
5. Daya adesi sangat besar sehingga aspal mampu mengusir air yang ada di agregat.

Contoh :
1. Campuran dingin dan kering (*cold mixes*) akan mengalami adesi tipe 1, tetapi dengan berjalannya waktu maka adesi akan membaik ke tipe 2 atau ke tipe 3. sehingga 24 jam pertama penggelaran bahan, adesi yang ada sangat peka terhadap air (misalnya hujan).
2. Campuran *hot mix*, akan segera mengalami tipe 2, selanjutnya ke tipe 3, dan ke tipe 4.
3. Campuran segera akan mengalami tipe 5, bila padatnya ditambahkan bahan tambah yang jenis dan kadarnya tepat.

3.9.6. Pengaruh Cuaca

Karena aspal merupakan senyawa hidrogen dan karbon yang mungkin dalam kondisi unsaturated, perubahan sifat yang sangat perlu diperhatikan yaitu reaktivitas terhadap O_2. hal ini mengingat, bahwa aspal untuk perkerasan akan selalu berhubungan dengan udara/oksigen.

1. Oksidasi pada suhu tinggi

aspal suhu tinggi + udara suhu tinggi → terjadi asphaltenese + H_2O lebih banyak

Proses *dehidrogenisasi*

(H_2 dari aspal ditarik keluar, terbentuk ashaltenese lebih banyak)

2. Oksidasi pada suhu rendah

Aspal didiamkan pada suhu ruangan yang tidak terkena sinar matahari, lama kelamaan terjadi selaput tipis yang keras. Selaput yang keras ini efektif untuk menghalangi proses oksidasi lebih lanjut. Pada kondisi di luar (terkena sinar matahari) proses terbentuknya selaput tipis lebih cepat. Selaput tipis ini apabila terkena tekanan mekanis dapat pecah, sehingga membuka kesempatan oksidasi bagi lapisan yang ada di bawahnya. Pada oksidasi ini selalu timbul lapisan yang getas (*brittle*) yang terdapat komponen baru yang larut dalam air.

3.9.7 Warna

Warna aspal aslinya adalah hitam atau coklat tua kehitam-hitaman. Untuk tujuan penggunaan tertentu, aspal dapat diberi warna, seperti : merah, hijau, biru, putih.

3.9.8. Berat Jenis (Spesific Gravity)

Berat jenis aspal bervariasi antara 0,95 - 1,05.

3.9.9. Durabilitas

Sifat tahan lama ini sangat diperlukan dalam hubungannya dengan air serta adanya aging of bitumen akibat kemungkinan terjadinya oksidasi.

BAB IV
AGREGAT

4.1. Klasifikasi

Klasifikasi agregat dapat dilakukan melalui beberapa cara antara lain:

Berdasarkan engineering properties

Pada cara ini kadang-kadang ditemui pada jenis batu (menurut ilmu batuan/petrologi) yang sama tetapi sifatnya berbeda-beda.

Berdasarkan proses alami terbentuknya batuan

Pada cara ini akan didapat agregat yang berasal dari:

a. Batuan alami :
    1. Batuan beku (*igneous rock*)
    2. Batuan sedimen
    3. Batuan metamorf (*metamorphic rock*)
b. Batuan buatan (*artifical rock*)
c. Batuan sisa (*waste materials*)

Berdasarkan agregat

Gradasi agregat dapat dikelompokkan menjadi :

a. gradasi rapat (dense grading)
b. gradasi terbuka (open grading)
c. gradasi timpang (gap grading)

Berdasarkan ukuran butiran

Untuk pekerjaan jalan, agregat dikelompokkan menjadi :

a. agregat kasar, dengan butiran tinggal diatas ayakan nomor 4
b. agregat halus, dengan butiran ukuran ayakan nomor 4 nomor 200
c. pengisi / filler, dengan butiran lewat ayakan nomor 200

Berdasarkan bentuk butiran

Ada beberapa bentuk butiran agregat yaitu : kubikal/cubical, bulat/ rounded, tak teratur/irregular,dll.

Berdasarkan proses terjadinya agregat

Dari aslinya sampai terbentuknya butir agregat dapat terjadi karena : diangkut air/water, angin/wind, korosi/corrosion, pemecah batu/ crusher.

Berdasarkan tekstur permukaan/surface texture
Tekstur permukaan agregat dapat berbentuk kasar, sedang, ataupun halus.

4.2. Batuan Alami

Ada tiga jenis batuan alami yaitu : batuan beku, batuan sedimen dan batuan metamorf.
Untuk pekerjaan jalan, karena alasan teknis umumnya yang digunakan adalah batuan beku walaupun tidak menutup kemungkinan dipakainya batuan lain.

Batuan Beku
Dikelompokkan menjadi tiga yaitu :

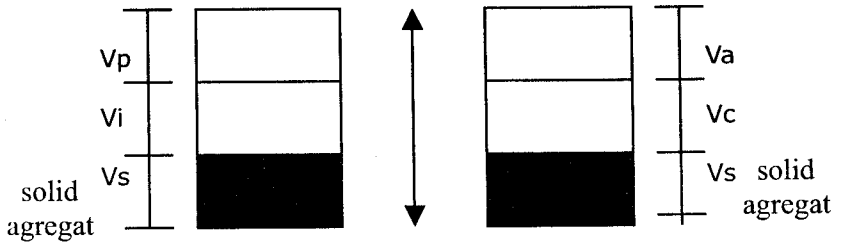
1. Plutonic (p), dengan ciri berkristal kasar, keras/hard dan ulet/tough.
2. Hypabisal (h), dengan ciri berkristal sedang dan kurang tahan terhadap abrasi.
3. Vulcanic (v), dengan ciri berkristal halus dan pada umumnya cenderung mempunyai kekuatan yang rendah.

Tabel 4.1 Jenis dan sifat batuan beku

Density	Warna	PH	Kandungan SiO_2	P	H	V
Rendah	Terang	Asam	Tinggi	Granite	Micro g	Pumice
↓	↓	↓		Syenite	Micro s	Tracyte
			Sedang	Diorite	Micro d	Audesite
				Gabro	Dolerite	Basalt
Tinggi	Gelap	Basa	Rendah			(augite)

Berat volume (relative density)
Macam-macam berat volume :

1. *True relative density (no voids)*
2. *Bulk density (oven dried)*
3. *Saturated surface dry (SSD)*
4. *Apparent relative density (termasuk impermeable particle)*
5. *Effective specific gravity*
6. *Berat isi agregat*



VOLUME

Dimana : Vp : Pores permeability to water
Vi : Pores impermeability to water
Va : Pores permeability to aspalt
Vc : Pores impermeability to aspalt

1. ***True relative density (TRD)***
Adalah perbandingan antara berat agregat kering (di udara, Ws) dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat (tanpa rongga, Vs)

$$TRD = \frac{Ws}{Vs}$$

2. ***Apparent relative density (berat jenis semu) (ARD)***
Adalah perbandingan antara berat agregat kering di udara dan berat air suling yang isinya sama dengan air agregat dalam keadaan kering.

$$ARD = \frac{Ws}{Vs \quad Vi}$$

3. ***Bulk density (bulk spesific gravity/berat jenis curah) (BSG)***
Adalah perbandingan antara berat agregat kering (di udara) dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh air.

$$BSG = \frac{Ws}{V}$$

4. ***Saturated surface dry (berat jenis jenuh kering permukaan) (SSD)***
Adalah perbandingan antar berat agregat jenuh kering permukaan dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh air.

$$SSD = \frac{Ws + air}{V}$$

5. ***Effective specific gravity (Ef.sg)***
Istilah-istilah diatas tidak daapt tepat berlaku pada campuran agregat-aspal karena sifat aspal tidak sama dengan sifat air, sehingga muncul effective specific grafity.

$$Ef.SG. = \frac{Ws}{Vs \quad Vc} = \frac{ARD + BSG}{2}$$

6. ***Berat isi agregat***
Yaitu berat isi campuran dari butir agregat berbagai ukuran diameter.

$$BI = \frac{berat}{total\ volume}$$

4.3 Mechanical Testing

Pemeriksaan kualitas agregat dapat dilakukan dengan test sebagai berikut :

a. Crushing

1. Ketahanan agregat terhadap slow loading
   Diperiksa dengan Aggregate Crushing Test (ACT) dan hasilnya berupa Aggregate Crushing Value (ACV). ACV menunjukkan jumlah butiran kecil yang terbentuk oleh ACT.
2. Ketahanan agregat terhadap rapid loading
   Diperiksa dengan Aggregate Impact Test dan hasilnya berupa Aggregate Impact Value (AIV)
   AIV menunjukkan jumlah butiran kecil yang terbentuk oleh AIT.

b. Abrasion

Ketahanan agregat tehadap abrasi dapat diperiksa dengan :

1. **Deval Test**
   Prinsip kerja alat adalah abrasi, percobaan ini untuk memeriksa ketahanan agregat terhadap abrasi.

2. **Los Angeles Test**
   Prinsip kerja alat adalah abrasi dan impak, percobaan ini untuk memeriksa ketahanan agregat terhadap abrasi dan impak.

c. Polishing

Ketahanan terhadap polishing terutama diperlukan bagi agregat yang akan digunakan untuk behan lapis permukaan. Banyak alat yang dapat diperlukan antara lain accelerated polishing test, dengan hasil yang disebut Polishing Stone Value (PSV)

4.4 Agregat Sebagai Bahan Jalan

4.4.1 Menurut proses terbentuknya

Batuan yang dapat sebagai bahan jalan meliputi batuan beku, batuan sedimen, batuan metamorf, batuan buatan (misal : klinker) dan bahan sisa/bekas.

Khusus untuk bahan jalan dari sisa/bekas beberapa hal yang perlu diperhatikan adalah :

1. **Kriteria penggunaannya**
   a. Jumlah bahan yang tersedia pada suatu lokasi harus cukup (misalnya 50.000 ton/tahun)
   b. Jarak angkut yang pantas
   c. Bahan tidak bersifat terlalu toxic
   d. Bahan tidak larut dalam air
2. **Sumber dan bentuk bahan bekas**
   a. *Minning and quarry wastes and products*
   b. *Metallurgical wastes and by products*
   c. *Industrial wastes and by products*
   d. *Municipal wastes*
   e. *Agricultural and forestry wastes and by products*

MILIK
Badan Perpustakaan
Propinsi Jawa Timur

3. Klasifikasi

Bahan ini dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

Tabel 4.2

Kelas	Uraian
I	Bahan yang berpotensi tinggi, karena karakteristik bahannya secara alami (by product)
II	Bahan yang memerlukan proses lanjut karena kualitasnya tidak masuk kategori I
III	Bahan yang tidak masuk kategori I dan II dan hanya digunakan pada kondisi tertentu
IV	Bahan yang tidak dapat dipergunakan untuk pekerjaan jalan

Contoh kelas bahan

Tabel 4.3

I	II	III	IV
Steel slag	Coper slag	Ceramic and refractory waste	Selain yang masuk kategori I, II dan III
Nicle slag	Quarry waste	Mine waste	
Demolition wastes	mine refuse		
Colliery spoil	Tyres and rubbers	Waste glass and cullet	
Dan lain-lain	Dan lain-lain	Dan lain-lain	

4. Karakteristik bahan

a. Tujuan penggunaan untuk teknik jalan.
   Bahan timbunan sebagai agregat (sub base, base, surface) sebagai filler, sebagai blinder, sebagai bahan tambahan.
b. Persyaratan khusus
   Disamping harus memenuhi persyaratan bahan jalan, pada umumnya bahan tersebut juga harus memenuhi syarat sebagai berikut :
   - tanpa bahan organic (kecuali wood paste)
   - tidak swelling dengan adanya air

   - tidak mengandung bahan yang larut air
   - tidak terlalu porus

c. Sebagai bahan timbunan
   Sebagai bahan timbunan perlu dipertimbangkan masalah :
   - settlement (perbedaan settlement dengan bangunan lain)
   - moisture density test
   - minimum modulus of deformation (CBR,plate bearing test)

d. Sebagai agregat
   Sebagai agregat dituntut persyaratan, makin dekat permukaan jalan makin ketat terhadap persyaratannya.

4.4.2. Persyratan sebagai bahan jalan

Secara umum agregat sebagai bahan jalan harus memenuhi persyaratan :

1. Tahan lama (durable → resistance to abrasive wear)
2. Kuat, keras, ulet (strong, hard, tough → resistance to slow rapid loading)
3. Khusus untuk bahan lapis permukaan harus diperhatikan:
   a. Keuletan/toughness, agregat harus memiliki keuletan yang cukup yang akan memberikan tahanan terhadap :
      - Slow crushing load (diperiksa dengan ACT 10% fine) dan
      - Rapid impact load (diperiksa dengan IAT, LAT)
   b. Kekerasan/hardness, akan memberikan tahanan terhadap abrasion/attrition (diperiksa dengan DT, AAT, LAT).
   c. Polishing, agregat harus memiliki tahanan terhadap polishing agar dapat menyelesaikan koefisien gesek yang cukup dan dapat bertahan lama. Untuk ini diadakan pemeriksaan dengan Accelerated Polishingf Test, hasilnya disebut Polished Stone Value (PSV).
   d. Stripping, agar agregat tahan terhadap stripping harus mempunyai adhesi yang baik dengan bahan ikatnya. Untuk ini dapat diadakan pemeriksaan dengan tes kelekatan aspal agregat.
   e. Weathering, agregat harus memiliki ketahanan terhadap cuaca (weather), antara lain terhadap perubahan suhu, air, kembang susut, frost. Untuk ini dapat diadakan pemeriksaan dengan Water Absorbtion Test atau Soundness Test.

4.5 Gradasi Agregat

Pada umumnya bahan agregat yang tersedia (dari hasil stone crusher) belum memenuhi persyaratan. Untuk ini perlu dilakukan usaha untuk dapat memenuhi persyaratan yang ditetapkan.

a. Spesifikasi gradasi

Untuk menentukan spesifikasi gradasi agregat, dapat digunakan persamaan dari **Metcalf** maupun **Fuller & Thompson**.

1. Metcalf

$$p = P\left(\frac{d}{D}\right)^n$$

n = bilangan tetap
d = diameter ayakan kecil
p = % lewat agregat pada diameter d
D = diameter ayakan besar
P = % lewat agregat pada diameter Dalam

2. Fuller & Thompson

$$p = 100\left(\frac{d}{D}\right)^n$$

n = bilangan tetap
d = diameter agregat yang ditentukan
p = % lewat agregat yang ditentukan
D = diameter agregat yang terbesar

3. Contoh spesifikasi gradasi (% passing)

# (mm)	B.M. 1987 (campuran IV)	Super pave	
		WC	BC
37,5	-	-	100
25	-	100	90 - 100
20	100	-	-
19	-	90 - 100	90
14	80-100	-	-
12,5	-	90	-
10	70-90	-	
5	50-70	-	
2,36	35-50	23 - 49	19 - 45
0,6	18-29	-	
0,279	13-23	-	
0,15	8-16	-	
0,075	4-10	2 - 8	1 - 7

b. Campuran agregat

Ada banyak cara untuk membuat campuran agregat yang gradasinya memenuhi persyaratan tertentu. Cara tersebut antara lain :

1. Arithmetical methode
   Untuk mendapatkan campuran agregat dengan gradasi sesuai dengan persyaratannya dapat digunakan persyaratan sebagai berikut:

$$X = 100 \times \frac{(F - S)}{(F - C)}$$

X = prosentase agregat kasar yang memenuhi sasaran
S = prosentase agregat yang lewat ayakan tertentu yang dikehendaki
F = prosentase agregat yang lewat ayakan tertentu
C = prosentase agregat kasar yang lewat ayakan tertentu

2. Grafical methode
   Langkah :
   a. Rata-rata gradasi persyaratan dianggap sebagai gradasi yang akan menjadi sasaran, digambarkan dalam garis lurus :
      - Persen (%) lewat,arah vertical dan berskala
      - Diameter butiran arah mendatar dengan skala yang menyesuaikan % lewat sehingga garis gradasi lurus

b. Gambarkan garis-garis gradasi bahan yang tersedia pada skala yang tersedia pada skala yang sama seperti tersebut diatas
c. Buatkan garis gradasi lurus yang kurang lebih mewakili garis gradasi yang dibuat pada butir 2.
d. Ujung-ujung yang berlawanan pada garis 3 dihubungkan. Garis ini akan membagi garis gradasi 1 dan bagian-bagian garis tersebut menentukan perbandingan campuran yang dicari.

3. Semigrafical Methode
   Langkah yang dilakukan dengan membuat empat persegi panjang, kemudian:
   a. Gradasi agregat 1 digambarkan pada sisi kiri.
   b. Gradasi agregat 2 digambarkan pada sisi kanan.
   c. Titik pada gradasi 1 dan gradasi 2 yang mempunyai diameter yang sama saling dihubungkan.
   d. Gambarkan pada garis hubung tersebut batas-batas gradasi pada sasaran untuk diameter agregat yang sama.
   e. Tentukan daerah yang masuk dalam batas tersebut dengan demikian perbandingan campuran akan diperoleh.
4. Trial Blend (coba-coba)

4.6 Degradasi Agregat

Untuk bahan jalan, batuan dibentuk menjadi butiran-butiran sesuai dengan tujuan penggunaannya. Campuran agregat dari berbagai ukuran butiran akan membentuk gradasi tertentu dan ini merupakan persyaratan yang juga harus dipenuhi disamping persyaratan yang disebutkan di depan.

Persyaratan lain yang harus diperhatikan adalah :

a. Gradasi (aggregate grading)
b. Bentuk butiran (particle shape)
c. Tingkat kepadatan (degree of compaction)

Bahaya yang mungkin timbul dengan tidak terpenuhinya persyaratan tersebut di atas (toughness, hardness) adalah degradasi, yaitu menunjukkan perubahan ukuran butiran dan susunan campuran agregat.

a. Akibat degradasi

Terjadinya perubahan bentuk yang bersifat permanen (permanent deformation) antara lain lendutan plastis.

b. Proses

Bahan lapis adalah agregat dan bahan ikat. Beban yang diderita oleh lapis perkerasan akan diteruskan dan diterima oleh agregatnya. Karena bertambahnya beban, agregat tidak kuat dan pecah. Kemungkinan terjadinya pecah agregat ini dengan mengingat :

1. Aggregate size, dengan meningkatnya ukuran butiran agregat, kemungkinan terjadinya perubahan diameter agregat (degradasi) akan lebih besar.
2. Aggregate shape, agregat pipih akan dapat pecah bila menerima beban (bending moment). Untuk itu diperlukan persyaratan yang berhubungan dengan jumlah agregat pipih/flaky (flakiness index)
3. Moisture content, dengan meningkatnya kadar air, kekuatan agregat akan menurun dan kemungkinan terjadinya perubahan diameter akan lebih besar.

c. Tipe

Berbagai bentuk degradasi :

1. Butir agregat pecah menjadi butir yang berukuran hampir saama.
2. Butir agregat "gripis" yaitu berubahnya bentuk angular menjadi rounded disertai terbentuknya butiran kecil akibatnya prosentasi butiran kecil dalam campuran agregat meningkat.
3. Pengausan pada bidang permukaan agregat, sehingga terbentuk butiran kecil baru dan prosentasi butiran kecil dalam campuran agregat meningkat.

d. Efek

Efek yang timbul akibat degradasi adalah :

1. Berkurangnya sifat saling mengunci antar butiran agregat.
2. Berkurangnya gesekan antar permukaan butir agregat.
3. Terjadinya kenaikan prosentasi butiran kecil, sehingga dapat meningkatkan luasan bidang kontak antar agregat.

e. Kemungklinan terjadinya degradasi

Degradasi akan terjadi bila persyaratan butiran agregat tidak terpenuhi, beban yang bekerja berlebih, serta adanya peluang untuk terjadi degradasi. Khusus peluang ini, akan banyak didapat pada campuran agregat yang bergradasi tidak rapat.

4.7. Bentuk butir (particle shape)

Dari berbagai factor yang mempengaruhi kualitas campuran agregat dan aspal adalah bentuk butiran (particle shape). Untuk mengetahui butir agregta perlu mengukur butir agregatnya (tiga dimensi) yaitu :

1. Bagian panjang (long)
2. Bagian sedang (intermediate)
3. Bagian pe4ndek (short)

Dari ukuran tersebut akan didapat besaran-besaran :

1. $p = \frac{short}{int\,ermediate} = \frac{c}{b}$

2. $q = \frac{int\,ermediate}{long} = \frac{b}{a}$

3. $F = \frac{p}{q}$ *(shape factor)*

4. Sphericity (max = 1)

$$Y = \frac{12{,}8\sqrt[3]{p^2.q}}{1 + p(1+q) + 6\sqrt{1 + p^2(1+q^2)}}$$

5. Roundness (max = 1)

Selanjutnya berdasarkan besaran tersebut dapat diklasifikasikan bentuk butir agregat :

- Bentuk piring (discs)
- Bentuk pisau (blades)
- Bentuk panjang (rods)
- Bentuk kubus (equidimentional), dengan batasan sebagai berikut :

Tabel 4.4

Bentuk	P	Q	Keterangan
Piring	<0,60	>0,55	Flaky/non elongated
Pisau	<0,60	<0,55	Flaky/elongated
Bulat panjang	>0,60	<0,55	Non flaky/elongated
Kubus	>0,60	>0,55	Non flaky/non elongated

4.8 Pemeriksaan agregat di laboratorium

1. Analisis saringan
2. Berat jenis agregat
3. Berat isi agregat
4. Peletakan agregat terhadap aspal
5. Ausan agregat
6. Bentuk agregat
7. *Aggregate crushing test*
8. *Aggregate impact test*
9. *Aggregate polishing test*
10. dan lain-lain.

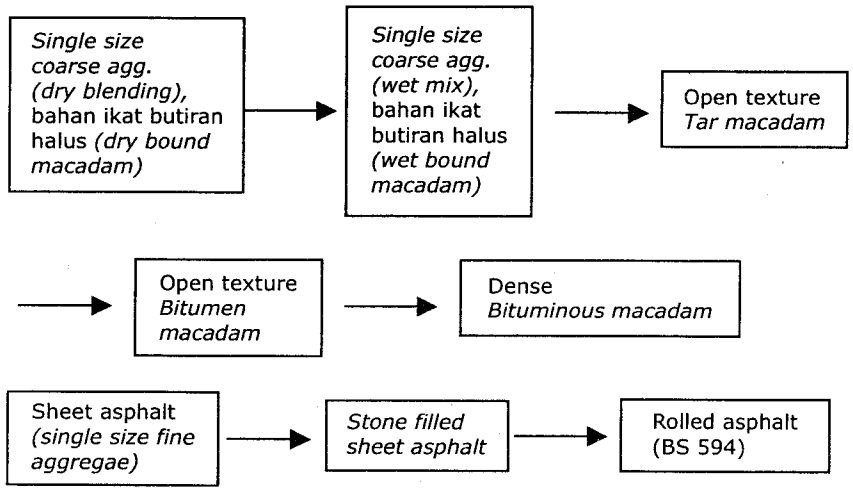
BAB V

PERKERASAN

5.1. Sejarah

Sejalan dengan pertumbuhan teknologi alat angkut, cara pembuatan jalan juga tumbuh menyesuaikan. Orang orang Romawi telah mengenal cara membuat jalan yang baik. Mereka bangsa pertama yang berusaha membuat jalan tidak hanya di negerinya, tetapi juga di daerah lain yang menjadi taklukannya. Jalan yang dibuat mencapai lebih dari 50.000 mil, dan ini semua dilakukan untuk kepentingan bangsa romawi.

Lain halnya di Eropa terutama di Inggris, jalan yang ada pada waktu itu terkenal sangat buruk. Namun demikian dari Negara inilah lahir ahli pembuat jalan seperti Metcalf (1717) dan Thomas Telford serta John Mc. Adam (1757). Nama mereka dikenang sampai sekarang, dengan dikenalnya *Lapis Telford* dan *Lapis Makadam*. Dan konsep ahli jalan yang terakhir ini yang sekarang terus dikembangkan. Dengan meningkatnya kendaraan di jalan raya, diperlukan adanya bahan yang tahan gelincir, dan dewasa ini dikembangkan lapis bahan jalan yang mampu menyediakan koefisien gesek yang tinggi.



5.2. Tanah Dasar (*subgrade)*

Subgrade atau tanah dasar adalah permukaan tanah yang dipadatkan dan merupakan permukaan dasar untuk perletakan bagian bagian perkerasan. Tanah dasar pada seluruh lebar jalan dapat berada pada: daerah galian, daerah timbunan, daerah galian dan timbunan, atau permukaan tanah. Jika tanah setempat jelek, maka perlu diadakan penggeseran lokasi jalan atau diadakan perbaikan tanah.

a. Klasifikasi tanah untuk pekerjaan perkerasan

Pada umumnya mengikuti cara:

1. AASHTO *Clasification System* : A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7
2. *Unified Soil Clasification* (USCS) : G, S, M, C, O, Pt, → W, P → H, L
3. *Federal Aviation Administration* (FAA) : E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7, E8, E9, E10, E11, E12, E13

b. Pemadatan

Faktor yang mempengaruhi kepadatan adalah :

- kadar air tanah
- jenis tanah
- energi pemadat

percobaan pemadatan di laboratorium dapat dilakukan dengan mengikuti *Standart Proctor Compaction Test* AASTHO T99 (percobaan pemadatan ringan) atau *Modified Proctor Compactoin Test* AASTHO T180 (percobaan pemadatan berat). Untuk mengetahui kepadatan yang telah dicapai dapat digunakan alat *Core Cutte, Sand Cone, Rubber Balon, Density Tester.*

c. Ukuran daya dukung

Ada beberapa cara untuk menyatakan daya dukung subgrade, antara lain :

- *California Bearing Ratio* (CBR) → Metode AASTHO, Bina Marga
- *Modulus of Subgrade Reaction* (k-value)
- *Resistance* (R value)

Ukuran yang sering digunakan adalah CBR, dan untuk daya dukung yang lain dicari korelasinya dengan CBR (*California Bearing Ratio*).

CBR adalah perbandingan antara beban penetrasi suatu bahan dengan bahan penetrasi bahan standar, pada penetrasi dan kecepatan pembebanan yang sama.

Beban penetrasi pada bahan standar diperoleh dari percobaan pada suatu batu pecah (sebagai bahan standar) yang dianggap mempunyai CBR 100%. Pembebanan dilakukan dengan piston diameter 2 inchi dan kecepatan penetrasi piston 0,05 inchi/menit.

Beban standar tersebut adalah:

Penetrasi (") :	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Beban (lbs) :	3000	4500	5700	6900	7800
Tekanan (psi) :	1000	1500	1900	2300	2600

Pemeriksaan CBR dapat dilakukan :

- pada tanah asli (*undisturbed*) atau pada tanah tidak asli (*disturbed*)
- dengan rendaman (*soaked*) atau tanpa rendaman (*unsoaked*)
- di laboratorium atau dilapangan

5.3. Lapis Pondasi Bawah (*Subbase Course*)

Lapis pondasi bawah atau subbase course adalah bagian perkerasan yang terletak antara lapis pondasi dan tanah dasar.

Bahan untuk subbase umumnya diambilkan dari bahan yang tidak memenuhi syarat bila akan digunakan untuk base course. Beberapa bahan yang sering dipakai:

- lapis aspal beton (laston) bawah
- pasir dan batu (sirtu) kelas A dengan CBR 70
- pasir dan batu (sirtu) kelas B dengan CBR 50
- pasir dan batu (sirtu) kelas C dengan CBR 30
- tanah / lempung kepasiran, dengan CBR 20

5.4. Lapis Pondasi

Lapis pondasi atau base course adalah bagian perkerasan yang terletak antara lapis permukaan dan lapis pondasi bawah (atau dengan tanah bila tidak menggunakan lapis pondasi bawah). Kualitas bahan base lebih baik daripada untuk subbase dan berbagai konstruksi untuk lapis pondasi adalah sebagai berikut:

5.4.1. Lapis Telford

Lapis ini dibuat dari batu belah (15-25 cm) dan batu pengunci/pengisi. Batu belah diatur di atas lapis pasir setebal 10 cm, maksud diberi lapis pasir ini adalah untuk keperluan peresapan. Bau diatur dengan tenaga orang dan diusahakan rongga antara batu belah sekecil mungkin. Untuk menguatkan berdirinya batu belah dipasang pasak-pasak batu, pemasangan batu belah ini diikuti dengan penggilasan.

Batu pengisi ditaburkan di atas batu belah tersebut untuk mengisi rongga di antara batu belah, kadang-kadang disertai dengan siraman air secukupnya, untuk membantu masuknya butiran ke sela-sela batu belah, selanjutnya disertai dengan pemadatan lagi. Kekuatan lapis Telford ditimbulkan oleh gesekan antar batu akan memberikan daya dukung yang lebih besar, sehingga batu dengan permukaan yang kasar dan bidang kontak yang luas antar batu akan memberikan daya dukung yang lebih besar, untuk itu digunakanlah batu belah.Mengingat pentingnya kontak sesama batu belah maka jika pada lapis pondasi ini kehilangan sifat saling kontak sesama batu, lapis Telford akan rusak.

Kerusakan ini juga dapat terjadi bila:

- penopang tepi (kanstien) lepas/roboh
- batu tidak atahan ausan
- beban yang dipikul terlalu besar, dan gaya gesek yang tersedia tidak cukup untuk melawannya, sehingga lapis rusak

5.4.2. Lapis Makadam Basah

a. Lapis Makadam Basah (*water bound macadam*)

Lapis ini dibuat dengan bahan batu pecah bergradasi tertentu, dengan syarat bersih, awet, keras, bersudut tajam dan tahan ausan. Batu pecah tersebut masih harus ditambah bahan ikat yaitu tanah liat dan umumnya bergradasi terbuka. Apabila tidak ada lapis pondasi bawah, untuk menghindari masuknya tanah dasar ke lapis pondasi karena beban roda, dapat diberi lapisan bawah yaitu berupa lapis pasir setebal 2,5 - 8 cm.

Cara pelaksanaan:

Batu pecah dihamparkan dan diikuti dengan penggilasan. Kemudian bahan ikat ditaburkan dan sambil disiram air dengan sekedarnya untuk membantu masuknya butiran bahan ikat ke rongga rongga di

antara batu pecah. Penghamparan bahan ikat ini juga diikuti penggilasan. Lapis macadam basah ini dapat terdiri dari beberapa lapis dan cara pelaksanaan tiap-tiap lapis adalah sama seperti tersebut di atas.

b. Lapis Makadam Kering

Lapis ini dibuat dengan bahan sama seperti pada lapis macadam basah, sedangkan cara pelaksanaannya juga sama dengan pada lapisan macadam basah, tetapi tanpa diberi siraman air. Untuk menggantikan tujuan penyiraman air, pada penggilasannya digunakan alat pemadat yang bergetar.

c. Lapis Penetrasi Makadam (*penetration macadam*)

Lapis ini selain untuk lapis pondasi juga dapat digunakan untuk lapis permukaan. Bahan dari batu pecah, batu pengunci dan bahan ikat aspal. Pada umumnya digunakan batu pecah dengan gradasi terbuka (ukuran tunggal), tetapi juga dapat digunakan gradasi rapat.

Cara pelaksanaan:

Batu pecah ditebarkan 5 - 10 cm ($\pm$1,5 ukuran batu besar) diikuti dengan taburan batu pengunci yang ukurannya seragam. Lapisan tersebut dipadatkan sambil membuang batu-batu yang oversize sehingga akan diperoleh lapisan yang rata. Kemudian aspal cair disemprotkan pada permukaaan yang sudah dipadatkan dan diikuti dengan taburan batu pengunci dan dipadatkan lagi. Jika lapis ini akan dijadikan lapis permukaan, setelah pemadatan yang terakhir segera diberikan lapisan aspal lagi dan selanjutnya ditaburi agregat ukuran seragam (*chipping*) sambil digilas.

d. Lapis Batu Pecah (aggregate base, dry stone)

Lapis ini dikembangkan sebagai pengganti lapis pondasi belah (Telford). Pada prinsipnya lapis ini hampir sama dengan lapis macadam.

Bahan : batu pecah hasil dari mesin pemecah bau dengan ukuran butiran :

- batu pecah 25 - 27 mm
- batu pengunci 12 - 18 mm
- fraksi halus lebih kecil 9 mm

Untuk mendapatkan campuran butiran batu pecah yang mampu menghasilkan lapis yang rapat dengan kepadatan yang optimum,

batu pecah-batu pecah tersebut harus dicampur sehingga memperoleh gradasi rapat. Dan berdasarkan kualitas batunya, bahan ini dapat dikelompokkan menjadi :

- batu pecah, kelas A dengan CBR 100
- batu pecah, kelas B dengan CBR 80
- batu pecah, kelas C dengan CBR 60

Cara pelaksanaan:

Batu pecah tersebut bergradasi rapat, agar kondisi ini tetap terjaga sampai pada lapis yang digelar di lapangan, maka perlu diusahakan agar tidak terjadi bahaya *segregation* (pemisahan), yaitu terpisahnya butiran kecil dari butiran besar sehingga campuran tidak homogen. Mengingat kemungkinan adanya bahaya *segregation*, maka cara pelaksanaannya dibagi menjadi:

1. **Cara basah (*wet method*)**

   Yaitu dengan cara menambahkan air pada campuran batu pecah. Air yang ditambahkan sejumlah $\pm$ 2,5 %, dapat diberikan pada saat bahan dimuat pada alat angkut (truk) atau diberikan setelah sampai ditempat rencana penggelaran. Bahan ditimbun di sumbu jalan dengan jarak tertentu sehingga diperkirakan cukup untuk membuat hamparan setebal 15 - 20 cm selebar jalan yang akan dibuat. Pada saat penghamparan diharapkan 2,5 % tadi sudah menguap. Sebelum bahan digelar perlu ditambahkan air sebanyak seperti yang diisyaratkan dalam hasil percobaan pemadatan di laboratorium. Setelah bahan digelar segera dipadatkan dengan penggilas roda besi dan diselesaikan dengan penggilas roda pneumatic.

2. **Cara pemisahan (*segregated method*)**

   Yaitu dengan cara memisah agregat, menyaring bahan menjadi 2 kelompok, yaitu : kelompok kasar (9 - 50 mm) dan fraksi halus (0 - 9 mm). hal tersebut dilakukan untuk menghindari agar tidak terjadi pemisahan.

   Bahan-bahan tadi diangkut ke lapangan, kelompok kasar ditebarkan lebih dahulu kemudian dipadatkan, barulah diikuti fraksi halus kemudian dipadatkan juga. Pemadatan dilakukan dari pinggir ke tengah dilakukan dengan setengah lebar roda pemadat. Alat pemadat yang digunakan adalah tandem bergetar

dengan berat 6 - 8 ton. Kelompok kasar ditebarkan disertai pemadatan dengan frekuensi 1500 - 1800 getaran/menit. Kemudian 2/3 fraksi halus ditebarkan dan diikuti dengan penggilasan berfrekuensi 2000 getaran/menit, dan setelah fraksi halus tersebut masuk ke rongga antara batu belah, maka sisanya (1/3) ditebarkan lagi dengan pemadatan yang sama tersebut di atas.

Keuntungan :

a. Cara basah
   - Peralatan yang digunakan mudah didapatkan
   - Air yang ditambahkan akan membantu dalam proses pemadatan serta dapat mengurangi ausan alat pemadatnya.
   - Dengan penambahan air bentuk permukaan akhir dapat lebih rata dan rapat

b. Cara pemisahan
   - Kemungkinan terjadinya pemisahan butiran dapat dihindari
   - Lebih leluasa dalam proses pelaksanaan pekerjaan, yaitu adanya kebebasan dalam menimbun bahan di lapangan
   - Kepadatan akhir yang didapat pada umumnya lebih tinggi dan hasil akhirnya tidak banyak dipengaruhi oleh tingkat ketrampilan operator.

e. Lapis dengan bahan yang distabilisasi

1. Stabilisasi mekanis

Stabilisasi mekanis adalah merupakan perbaikan struktur, perbaikan susunan butiran dan perbaikan sifat-sifat mekanis bahan. Perbaikan ini dapat dilakukan dangan cara menurunkan kadar lempungnya, karena menimbulkan sifat yang kurang baik. Misal : kembang susut, dengan cara menambahkan pasir.

Sebaliknya jika suatu tanah kandungan lempungnya kurang yang berfungsi sebagai perekat dapat ditambahkan tanah yang mengandung tanah liat.

2. Stabilisasi dengan semen

Tanah yang akan distabilisir dicampur Portland Cement (PC) dengan jumlah tertentu. Tambahan semen dimaksudkan untuk menurunkan plastisitas tanah, dan potensi kembang susut tanah dengan harapan daya dukung tanah dapat meningkat.

Faktor yang berpengaruh:

a. Jenis tanah
   Gradasi tanah dan kandungan bahan organic akan mempengaruhi hasil stabilitas ini. Khususnya bahan organic akan mempengaruhi ikatan antara butiran tanah dan semennya.
b. Jenis dan kadar semen
   makin besar kadar semen makin baik hasil yang didapat, sedangkan jenis semen relativ kecil pengaruhnya terhadap hasil akhir.
c. Kadar air
   Air yang ada harus bebas dari asam, garam, bahan organic dll. Bahan-bahan tersebut akan mempengaruhi proses ikatan antara semen dan butiran tanah. Untuk tanah yang kohesif, kadar air yang diperlukan $\pm$ 2 % lebih tinggi dari kadar air optimumnya. Sedangkan untuk jenis tanah yang lain, kadar air umumnya sama dengan kadar air optimum.
d. Homogenitas campuran
   Makin homogen campuran akan makin baik hasilnya, untuk itu perlu diperhatikan batas waktu untuk memperoleh campuran yang homogen.
e. Kepadatan
   Pemadatan campuran harus dilakukan sebelum proses pengikatan selesai, dengan demikian akan didapatkan kepadatan maksimum dan kekuatan tanah yang optimum.
f. Curing
   Setelah dipadatkan, diperlukan curing yang cukup sehingga proses hidrasi dapat berjalan dengan baik dan selama proses hidrasi ini dihindarkan dari penguapan kandungan air dan pembebanan.

Ukuran kekuatan

Pemeriksaan kekuatan stabilisasi dengan semen dilakukan dengan Nilai Kuat Tekan Hancur benda ujinya.
Contoh penggunaan : (kuat tekan hancur umur 7 hari)

	Kuat Tekan Hancur	
Inggris	17,5 kg/cm^2	Base course, lalulintas ringan sampai sedang
	28 – 35 kg/cm^2	Base course, lalulintas
AASTHO	> 650 psi	Base course
	400 – 650	Base course
	< 400 psi	Base course
Jepang	30 kg/cm^2	Base course
Indonesia	18 – 22 kg/cm^2	Base course

Cara pelaksanaan :

Pelaksanaan pembuatan campuran antar tanah dan semen, dapat dilakukan dengan:

- *Mix in place,* yaitu langsung diolah/dicampur di tempat dimana bahan akan digelar
- *Pre mix,* yaitu dicampur terlebih dahulu di suatu tempat, baru kemudian diangkut ke lokasi penggelaran, untuk ini dapat dilaksanakan dengan cara:
  a. *traveling plant method*
  b. *stationary plant method*

Penggelaran bahan campuran segera diikuti pemadatan dan harus selesai selambat-lambatnya 2 jam sejak kedua bahan tadi dicampurkan, jika tidak maka kepadatan yang akan dicapai tidak akan sampai ke nilai optimalnya.

Penggunaan:

Stabilisasi dengan semen tidak cocok bila digunakan untuk lapis permukaan, karena akibat beban roda yang berputar terjadilah ausan dan disertai debu. Apabila terpaksa akan digunakan untuk lapis permukaan, bagian atas seyogyanya ditutup dengan lapis *burtu/burda*.
Untuk lalulintas ringan, bahan tersebut dapat digunakan untuk lapis pondasi atau lapis pondasi bawah, dengan tebal yang dianjurkan 15 cm dan kadar semen 7 - 15 %.

3. Stabilisasi dengan Kapur

Tambahan kapur pada tanah akan menurunkan batas cair, index plastis, serta menaikkan kekuatan tanah. Jika suatu tanah

ditambah dengan kapur, maka kapur akan menarik film air yang mengelilingi butiran tanah dan terjadilah gumpalan butir-butir tanah. Proses ini dipengaruhi kualitas kapur, kepadatan dan lama curing.

Ukuran kekuatan:

Indonesia : 18 - 22 kg/cm^2 (merupakan kuat tekan hancur pada umur 7 hari) → *base course*

Penggunaan:

Stabilisasi kapur dapat digunakan untuk lapis pondasi dan juga lapis pondasi bawah.

Kadar kapur ±5 - 10 %

4. **Stabilisasi dengan aspal/bitumen**

   Di daerah yang sukar memperoleh batu sebagai bahan perkerasan atau jika memerlukan biaya transport yang mahal, dapat digunakan stabilisasi aspal. Stabilisasi ini cocok untuk tanah yang berbutir terutama tanah yang kandungan butir halusnya rendah. Aspal yang digunakan umumnya aspal cair dengan kadar aspal 2 - 8 %

5.5. Lapis Permukaan (Surface Course)

Lapis permukaan atau surface course adalah bagian perkerasan yang paling atas. Sebagai lapis teratas, lapis ini akan berhubungan langsung dengan roda kendaraan. Untuk fungsi lapis ini dapat meliputi seluruhnya dan atau sebagian dari :

a. Fungsi structural, yaitu ikut memikul dan menyebarkan beban ke lapis dibawahnya.
b. Fungsi non structural, misalnya: kedap air, membentuk permukaan yang rata dan tidak licin, dan sebagai lapis aus.

Konstruksi lapis perkerasan yang sekarang dapat dijumpai antara lain:

1. Lapis Telford
2. Lapis Makadam
3. Lapis penetrasi macadam
4. Laburan aspal satu lapis
5. Laburan aspal dua lapis
6. Lapis dengan asbuton
7. Lapisan beton aspal
8. *Hot Rolled Asphalt*

9. *Hot Rolled Shet*
10. Lapis interblok
11. Dan lain lain

5.5.1. Prime Coat dan Tack Coat

Prime coat adalah pemberian lapis aspal pada permukaan lapis pondasi jalan untuk yang pertama kali. Aspal yang digunakan umumnya aspal cair dengan viskositas rendah dengan maksud agar lapis pondasi tersebut terlindung, sebelum pemberian lapis permukaan.

Tujuan dari pemberian lapis ini adalah:

- memberikan lapis kedap air pada permukaan lapis pondasi
- menutup lubang-lubang kecil pada permukaan lapis pondasi
- menutup/melapisi butiran batu yang lepas, sehingga butiran tersebut saling terikat
- membantu dalam mengadakan ikatan yang baik antara lapis pondasi dengan lapis permukaan.

Setelah *prime coat* diberikan, dibiarkan selama 24 jam agar aspal terserap ke bawah. Viskositas aspal yang digunakan tergantung dari bahan lapis pondasi, untuk:

- gradasi rendah, digunakan aspal dengan viskositas lebih rendah
- gradasi terbuka, digunakan aspal dengan viskositas lebih tinggi

Jumlah aspal yang digunakan berkisar 0,9 - 2,2 l/m^2, tepatnya tergantung dari bahan lapis pondasi:

- permukaan bertanah liat : 1 l/m^2
- lapis pondasi tanah kompak : 1,5 - 1,7 l/m^2
- lapis pondasi kasar dan terbuka : 2 - 2,2 l/m^2

Tack coat adalah pemberian lapis aspal pada permukaan yang sudah beraspal. Tujuannya untuk memberikan ikatan antar lapis lama dan lapis baru yang akan ditambahkan. Dibandingkan dengan prime coat, jumlah aspal yang diberikan lebih sedikit dan yang penting pemberiannya lebih merata.

5.5.2. Laburan Aspal Satu Lapis (Burtu)

1. Fungsi

Burtu dapat berfungsi :

a. membuat permukaan tidak berdebu
b. mencegah masuknya air dari lapis permukaan (lapis rapat air)
c. memperbaiki tekstur permukaan perkerasan

2. Sifat

Burtu mempunyai sifat:

a. kedap air
b. kenyal
c. tidak mempunyai nilai struktur
d. tidak licin

3. Penggunaan

Burtu dilaksanakan pada jalan yang belum/sudah beraspal dengan ketentuan:

a. jalan yang stabil dan rata/dibuat rata
b. jalan yang mulai retak-retak atau mengalami degradasi permukaan
c. jalan dengan lalu lintas ringan sampai berat

4. Perencanaan

a. Data yang diperlukan : volume lalulintas, jenis dan ukuran agregat, jenis aspal, temperature permukaan rata-rata, dan kondisi permukaan jalan yang ada
b. Ukuran nominal agregat

Tabel 5.1

Kondisi Permukaan	Ukuran agregat untuk lalulintas		
	Ringan (mm)	Sedang (mm)	Berat (mm)
Keras (laston)	6	9	12
Normal (lasbutag)	9	12	20
Lunak (latasbum)	12	20	20

5. Penentuan jumlah aspal dan agregat

- jumlah aspal dan agregat didasarkan atas motode Hasen
- *Avarage Least Dimension* (ALD) harus ditentukan lebih dahulu dengan cara mengukur diameter rata-rata dan ketelitian agregat

$$\text{Jumlah Aspal} = \frac{VFA}{500} x\, ALD \ \text{l/m}^2$$

$$\text{Jumlah Agregat} \quad \frac{ALD}{625} \ \text{m}^3/\text{m}^2$$

5.5.3. Lapis dengan Asbuton

Jenis

Sifat dan keadaan asbuton telah diuraikan di depan, dan tampak bahwa keadaannya berbeda dengan aspal minyak. Untuk itu cara pengerjaannya juga berbeda dengan aspal minyak. Lapis permukaan jalan yang dapat dibuat dari asbuton ada beberapa, yaitu:

1. ***Seal Coat Asbuton***
   Lapis ini merupakan campuran antara asbuton, bahan pelunak dan dengan perbandingan tertentu dan pencapurannya dilakukan secara dingin (*cold mix*).
2. ***Sand Sheet Asbuton***
   Lapis ini merupakan campuran antara asbuton, bahan pelunak dan pasir dengan perbandingan tertentu dan pencampurannya dilakukan secara dingin./hangat/panas.
3. **Lapis Beton Asbuton**
   Lapis ini merupakan campuran antara asbuton, bahan pelunak dan agregat dengan gradasi rapat pada perbandingan tertentu yang dilaksanakan secara dingin/hangat/panas
4. ***Surface Treatment Asbuton***
   Lapis ini seperti halnya *seal coat asbuton*. Sedangkan perbedaannya terletak pada pelaksanaan di lapangan, yaitu di atas lapis tersebut ditaburkan *agregat single size*.

Perbandingan campuran

1. Komposisi Asbuton
   Asbuton terdiri atas bitumen dan mineral yang dikandungnya, yang nantinya akan berpengaruh terhadap kualitas campuran.
2. Kadar aspal dalam campuran
   Penentuan kadar aspal ditetapkan dengan percobaan di laboratorium dan nilainya berkisar antara 6 - 8%.
3. Suhu pelaksanaan
   a. Secara dingin
      pencampuran dilaksanakan pada suhu ruangan. Campuran secara dingin tidak dapat langsung dihamparkan di lapangan, tetapi harus diperam lebih dahulu (1 - 3 hari) agar bahan pelunak diberi kesempatan meresap ke dalam butiran asbuton.

Lama waktu pengeraman tergantung:
- diameter butir asbuton, makin besar butiran waktu peram makin lama
- kadar air yang terkandung dalam asbuton
- cuaca setempat
- kekentalan bahan pelunak, makin encer peresapan akan makin cepat sehingga lama pemeraman lebih singkat
- kadar aspal dalam asbuton

b. Secara hangat dan panas
Kedua cara tersebut hampir sama kecuali:
- secara panas : suhu campuan diatas 100 ^{0} C
- secara dingin : suhu campuran dibawah 100 ^{0} C

Kadar air dalam asbuton menentukan suhu pemanasan agregat, makin tinggi kadar air yang ada, makin tinggi suhu agregat. Tetapi pemanasan agregat yang berlebihan akan dapat merusak hasil campuran yang kadang kadang aspal dalam asbuton akan terbakar sehingga daya lekat menurun. Untuk itu sebaiknya asbuton yang akan dicampur haruslah kering dengan kadar air maksimum 0 % dan diusahakan agar asbuton yang sudah dipecah disimpan di tempat yang terlindung dari pengaruh air.

Jenis lapis yang banyak digunakan adalah:
1. NACAS (*Non Aggregaet Cold Asbuton Sheet*)
2. ACAS (*Aggregate Cold Asbuton Sheet*)
3. LATASBUM (Lapis Tipis Asbuton Murni)
4. LASBUTAG (Lapis Asbuton Agregat)
5. Campuran Mastic Aspal
6. Beton Aspal Buton Epure

5.5.4. Beton Aspal

Beton aspal terdiri atas campuran agregat dari berbagai diameter dan aspal. Pencampuran dapat dilaksanakan secara dingin (*cold mix)* maupun secara panas *(hot mix)*. Untuk hot mix bahan dipanasi sampai 155^0 C bagi agregat dan 165^0 C, serta akan menghasilkan campuran dengan suhu 160^0 C, selanjutnya bahan digelar di lapangan.
Bahan penyusun :

a. Bahan ikat : aspal
b. Agregat :
   1. agregat kasar
   2. agregat halus
   3. pengisi /filler

Aggregat
Aggregat sebagai bahan utama dalam lapis perkerasan berfungsi untuk menerima dan meneruskan beban yang diterima oleh lapis perkerasan tersebut.

Filler
Filler adalah suatu bahan berbutir halus yang lewat ayakan no. 30 (595 u) US Standart Sieve dan 65 % lewat ayakan no. 200 (74 u). bahan filler dapat berupa : debu batu, kapur, Portland cement, atau bahan lain

Pembuatan lapis permukaan dari beton aspal diperlukan agregat dengan gradasi tertentu, untuk itu biasanya dibutuhkan, disamping agregat kasar, agregat halus juga pengisi/filler. Campuran agregat-agregat itu akan membentuk gradasi tertentu sesuai dengan yang dipersyaratkan. Dalam campuran beton aspal, filler memiliki peranan tersendiri, untuk mendapatkan beton aspal yang memenuhi ketentuannya.

Jika dikaitkan dengan agregat, akan tampak bahwa:

Parameter Butiran	Agregat kasar	Filler
1. Ukuran butiran	Besar	Kecil
2. Bentuk butiran	Disc/blade/round/cubical	Cubical/round
3. Gradasi	Dense/open/gap	Open
4. Luas permukaan	-	Lebih luas
5. Daya affinity	Tergantung sumber bahannya	

Penggunaan filler dalam campuran beton aspal akan sangat mempengaruhi karakteristik beton aspal tersebut, efek tersebut dapat dikelompokkan :

1. Efek penggunaan filler terhadap karakteristik campuran aspal filler.
   a. efek penggunaan filler terhadap viskositas campuran:
      - efek penggunaan berbagai jenis filler terhadap viskositas campuran tidak sama
      - luas permukaan filler yang makin besar akan menaikkan viskositas campuran dibanding dengan yang berluas permukaan kecil
      - adanya daya affinitas, menyebabkan jumlah aspal yang dapat diserap oleh berbagai filler cukup bervariasi. Pada keadaan dimana viskositas naik, jumlah aspal yang diserap makin besar.
   b. efek penggunaan filler terhadap daktailitas dan penetrasi campuran:
      - kadar filler yang semakin tinggi akan menurunkan daktailitas, hal ini juga terjadi pada berbagai suhu
      - jenis filler yang akan menaikkan viskositas aspal, akan menurunkan penetrasi aspal
   c. efek suhu dan pemanasan
      - jenis dan kadar filler memberikan pengaruh yang saling berbeda pada berbagai temperature.
2. Efek penggunaan filler terhadap kaakteristik campuran beton aspal
   Kadar filler dalam campuran akan mempengaruhi dalam proses pencampuran, penggelaran dan pemadatan. Di samping itu kadar dan jenis filler akan berpengaruh terhadap sifat elastic campuran dan sensitifitas terhadap air.

Hasil penelitian pengaruh penggunaan filler terhadap campuran beton aspal adalah sebagai berikut :

a. Filler diperlukan untuk meningkatkan kepadatan, kekuatan dan karakteristik lain beton aspal
b. Filler dapat berfungsi ganda dalam campuran beton aspal:
   - sebagai bagian dari agregat, filler akan mengisi rongga dan menambah bidang kontak antar butir agregat sehingga akan meningkatkan kekuatan campuran
   - bila dicampur dengan aspal, filler akan membentuk bahan pengikat yang berkonsistensi tinggi sehingga mengikat butiran agregat secara bersama-sama

c. Sifat aspal (daktailitas, penetrasi, viskositas) diubah secara drastis oleh filler, walaupun kadarnya relatif rendah dibanding pada campuran beton aspal. Penambahan filler pada aspal akan meningkatkan konsistensi aspal.
d. Pada kadar filler yang umum digunakan dalam campuran beton aspal, daktailitas campuran aspal - filler akan mencapai nol. Sedangkan pada suhu dan kadar filler yang sama, nilai penetrasi campuran aspal - filler akan turun sampai < 1/3 dari penetrasi semula.
e. Viskositas campuran aspal filler pada suhu tinggi sangat bervariasi pada kisaran lebar, tergantung pada jenis filler dan kadarnya. Perbedaan ini menjadi kecil pada suhu lebih rendah.
f. Hasil tes memnunjukkan bahwa ada hubungan yang baik antara viskositas aspal dan usaha pemadatan campuran. Disarankan suhu perlu dinaikkan bila memadatkan campuran dengan filler - aspal berkonsistensi tinggi.
g. Hasil tes menunjukkan ada hubungan yang baik antara stabilitas campuran dan kekentalan aspal pada pemadatan campuran dengan kadar void yang sama.
h. Sensitivitas campuran terhadap air pada tipe dan kadar filler yang berbeda menunjukkan variasi yang besar. Hasil tes menunjukkan bahwa sensitivitas terhadap air dapat diturunkan dengan mengurangi kadar filler yang sensitive air.
i. Dari hasil studi yang telah ada, perlu ada control terhadap penambahan filler alami, dengan cara :
   - *particle size analysis* dengan hydrometer method, yaitu kandungan clay (≤5%) perlu dibatasi.
   - *plastic index, nilainya juga perlu dibatasi*
   - immersion - compression test, berdasarkan pada sensitivitas terhadap air, filler dapat ditolak/tidak diperlukan atau kadarnya disesuaikan sampai batas-batas yang diterima.

Beberapa campuran yang ada adalah :

1. Beton aspal
2. *Hot rolled sheet*
3. *Gussasphalt*
4. *Hot rolled asphalt*
5. Campuran emulsi bergradasi rapat (CEBR)

6. Campuran emulsi bergradasi terbuka (CEBT)
7. *Spilt mastic asphalt* (SMA)
8. *Stone matrix asphalt* (SMA)
9. Campuran mastic aspal (CMA)
10. Beton aspal buton epure
11. dan lain lain (superpave)

5.5.5. Lapis Interblok

Yang dimaksud dengan interblok atau unit perkerasan segmental adalah unit atau blok dengan luas bidang permukaan datar tidak melebihi 0.09 m^2 yang mempunyai bidang sisi/dinding empat ataupun banyak dengan bidang atas dan bawah yang sejajar.
Dalam konstruksi perkerasan, interblok digunakan atau berfungsi sebagai lapis permukaan perkerasan. Konstruksi perkerasan yang menggunakan interblok sebagai lapis permukaan ini selanjutnya disebut perkerasan interblok. Perkerasan ini disarankan untuk tidak digunakan pada jalan yang mempunyai kecepatan melebihi 60 km/jam.
Interblok dipasang berdekatan antara satu dengan yang lainnya mengikuti pola tertentu. Selanjutnya diusahakan terjadi interlocking antar interblok sehingga keseluruhan interblok dapat berfungsi sebagai satu kesatuan konstruksi di dalam menerima beban, baik beban vertical maupun beban horizontal. Sifat saling mengunci antar interblok dimungkinkan karena adanya bedding sand, sand filler, pemadatan, kanstein yang kokoh. Dan pola pemasangan yang teratur.

Lapis Permukaan	- Interblok
	- Bedding sand/laying course
Lapis Pondasi	
Lapis Pondasi Bawah	
Tanah Dasar	

Lapis pondasi
Lapis ini sama seperti pada perkerasan lain

Kanstein
Perkerasan interblok memerlukan kanstein. Kanstein sebagai penjepit di pinggir umumnya dibuat dari beton dengan mutu minimum K250 dan dapat dicor di tempat atau beton pracetak. Ukuran kanstein harus cukup

untuk menerima beban horizontal kearah melintang pada perkerasan dan harus sudah dipasang dan telah cukup umur sebelum lapis interblok dipasang.

Sand bedding
Sand bedding sebagai lapis alas interblok dibuat dari pasir yang keras, padat, dan bebas dari segala kotoran dengan kadar lumpur < 3 %. Pasir tersebut sebelum digunakan sebagai sand bedding disimpan dengan baik dan dilindungi dari cuaca, dan pada waktu akan dihampar harus dalam keadaan kering dengan kadar air 10 %.
Penghamparan lapis pasir tersebut harus dalam keadaan gembur dengan menggunakan jidar kayu sepanjang 2 - 3 m dan dianjurkan dengan ketebalan 2,5 - 4 cm. Lapis pasir yang telah dihamparkan harus dijaga agar selalu dalam keadaan gembur, kering, dan dilindungi dari kemungkinan memadat serta terkena percikan air.

Lapis Interblok

1. **Pemasangan interblok**
   Interblok dipasang di atas sand bedding yang telah diratakan, dan dimulai dari tepi yang menempel pada kanstein. Untuk menjaga kerapian pola pemasangan dapat dibantu dengan menarik benang pembantu. Celah antar interblok dijaga antara 2 - 4 mm.
   Untuk tiap baris hanya interblok utuh yang boleh dipasang, sedang lubang-lubang pada bagian tepi yang menempel kanstein dapat diisi dengan potongan interblok sebelum lapis interblok dipadatkan.
2. **Pola pemasangan**
   Bentuk pola pemasangan interblok :
   - *basketheave*
   - *stretcher*
   - *herringbone*
3. **Pemadatan**
   Dalam pelaksanaan pemadatan diperlukan :
   - alat pemadat (*plate vibrator*)
   - pasir pengisi (keras, bebas dari kotoran serta mengandung 10 % kadar Lumpur).

   Pemadatan pertama segera dilakukan setelah pemasangan interblok mencapai luas yang cukup dan semua lubang tepi telah terisi, dengan menggunakan *plate vibrator* yang mampu menimbulkan gaya

sentrifugal sebesar 3 - 6,5 ton dan memiliki luas dasar 0,5 - 0,6 m^2. Jumlah lintasan umumnya antara 3 4 kali dan apabila ada interblok yang pecah selama pemadatan harus segera diganti pada saat itu juga. Pemadatan dijaga agar tidak dilakukan pada jarak 1 meter dari pasangan interblok yang masih terbuka atau belum dijepit oleh kanstein.

Pemadatan kedua dilakukan bersamaan dengan penebaran pasir pengisi di atas pasangan interblok. Alat pemadat yang dipakai sama seperti pada pemadatan yang pertama. Tujuan pemadatan ini adalah untuk menggetarkan pasangan interblok agar pasir pengisi mengisi celah celah yang belum sepenuhnya terisi oleh sand bedding, serta meatakan permukaan pasangan interblok yang mungkin kerataannya belum seragam. Hasil akhir pemadatan kedua adalah permukaan yang rata dan mempunyai kemiringan tertentu.

5.5.6. Pemadatan Pekerjaan Pengaspalan

Hasil akhir pekerjaan pengaspalan tidak hanya dipengaruhi oleh kualitas bahan tetapi juga oleh proses pembuatannya, antara lain pemadatan.

Dalam pekerjaan pengaspalan peralatan yang terkait adalah :

- alat untuk mencampur beton aspal, yaitu *Asphalt Mixing Plant* (AMP)
- alat angkut (*dump truck*)
- alat penggelar (*paver*)
- alat pemadat

Cara pemadatan

Tahapan pemadatan:

1. pemadatan pertama (*breakdown rolling*), dilakukan segera setelah campuran digelar (dibelakang paver k.l. 60 m). suhu pemadatan dianjurkan 115° C dengan alat pemadat *steel wheel roller* (tandem/*two axle roller*)
2. Pemadatan kedua (*intermediate rolling*), dilakukan setelah pemadatan pertama (berjarak k.l. 60 m). suhu pemadatan yang dianjurkan 100° C dengan alat pemadatan *pneumatic tired roller*. Maksud penggunaan alat tersebut adalah:
   - memberikan kepadatan yang lebih merata
   - memperoleh permukaan yang lebih baik dan merapatkan retak retak rambut pada bagian permukaan

   - memperbesar stabilitas lapisan
3. Pemadatan terakhir (finish rolling), dilakukan setelah pemadatan kedua, sehungga masih memungkinkan dapat menghilangkan bekas roda dari penggilasan kedua. Suhu pemadatan yang dianjurkan 75° C dengan alat pemadat *steel whell roller* (*three axle*).

Urutan penggilasan :

a. Penggilasan pada pengaspalan dengan lebar satu lajur (*single width*)
   1. Sambungan melintang
      Sambungan melintang dibuat lurus, penggilasannya dilakukan dengan benar dan hati hati, agar didapat permukaan yang halus dan rata.
   2. Bagian tepi luar
   3. Penggilasan pertama, dimulai dari bagian yang lebih rendah bergerak menuju ke bagian yang lebih tinggi
   4. penggilasan kedua, dilakukan segera setelah pengilasan pertama
   5. penggilasan akhir
b. Penggilasan dengan lebar lebih dari satu jalur
   1. Sambungan melintang
   2. Sambungan memanjang
      Penggilasan dilakukan langsung di belakang penggelar
   3. Penggilasan pertama
   4. Penggilasan kedua
   5. Penggilasan terakhir

Hal yang harus diperhatikan :

1. Selama penggilasan roda harus selalu dalam keadaan basah, agar permukaan roda selalu bersih dan tidak ada bahan yang terbawa roda
2. Alat pemadat berjalan perlahan dengan kecepatan yang merata, untuk alat pemadat :
   - roda baja (*steel wheel*) : 4 - 5 km/jam
   - roda karet : 7 - 8 km/jam
3. Selama penggilasan roda gerak diletakkan di depan.
   Alat pemadat tidak diijinkan diam/parker pada lapisan yang sudah dipadatkan tetapi belum dingin.

BAB VI

KADAR ASPAL DALAM CAMPURAN

Dalam campuran aspal dan agregat, aspal berfungsi sebagai bahan ikat. Perkerasan dengan bahan ikat aspal akan terbuka di alam dan akan langsung dipengaruhi oleh perubahan cuaca. Jika aspal yang diberikan lebih rendah dari kebutuhan optimal, maka ikatan yang timbul kurang sempurna, sebaliknya pemberian yang berlebihan akan memberikan ikatan yang baik tetapi pada suhu tinggi kelebihan aspal akan berakibat tidak baik juga. Untuk itu diperlukan jumlah aspal yang tepat.

Beberapa cara menentukan kadar aspal dalam campuran agregat :

1. Metode ruang kosong
   Metode ini mendasarkan pada ruang kosong yang ada dalam campuran agregat yang sudah dipadatkan dengan mengigat bahwa suatu bahan itu dapat mengalami perubahan volume, maka dalam campuran agregat itu disisihkan sedikit ruang kosong k.l. 2-7 %, dan selebihnya ruang disediakan untuk aspal. Atas dasar prinsip ini, maka jumlah aspal yang diperlukan untuk campuran beton aspal akan didapat.
2. Metode luas permukaan
   Metode ini berdasar pada prinsip bahwa seluruh aspal yang ada akan digunakan untuk menyelubungi seluruh luas permukaan butir agregat. Untuk itu perlu ditentukan luas permukaan agregat sebagai bahan jalan (secara empiris).
3. Percobaan di laboratorium
   Kadar aspal dapat juga ditentukan dengan percobaan di laboratorium, yang antara lain :

Percobaan Marshall

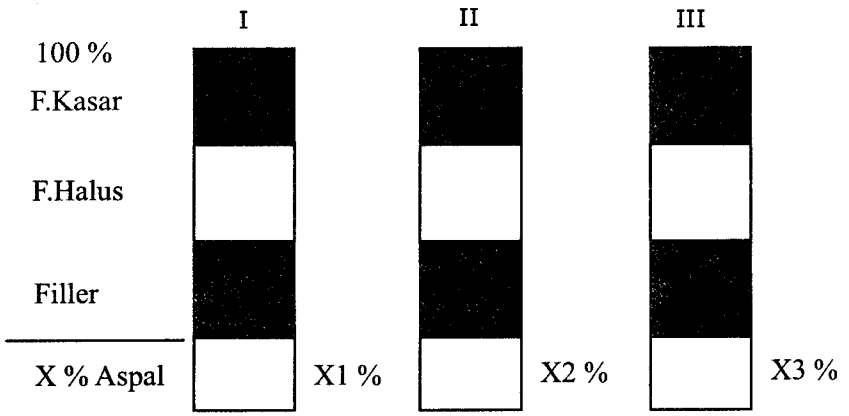
A). Bahan penyusun :
   1) Agregat, sesuai dengan gradasi yang disyaratkan dan komposisi antar fraksi sudah tertentu.

2) Aspal, diberikan dengan kadar tertentu dan divariasikan sesuai dengan tujuan percobaan.

B). Komposisi benda uji

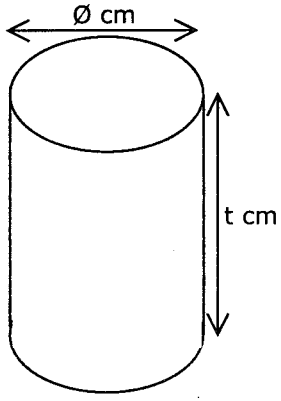
Komposisi benda uji dibuat sesuai dengan rancangan percobaan, sebagai contoh :

Komposisi Benda Uji



Campuran Agregat - Aspal (Uji Marshall)

t = tebal benda uji (b.u),mm
a = kadar aspal terhadap agregat, %
b = kadar aspal terhadap campuran, %
c = berat kering b.u. (sebelum direndam), gr
d = berat b.u keadaan SSD, g
e = berat b.u. didalam air, grf = volume b.u. = d- e,
g = berat volume b.u. = c/f, gr/cc
h = B.J. maximum teoritis, gr/cc



C). Pengujian dan Analisis Kerapatan / rongga campuran agregat - aspal (Uji Marshall)

t = tebal benda uji (b.u),mm
a = kadar aspal terhadap agregat, %
b = kadar aspal terhadap campuran, %
c = berat kering b.u. (sebelum direndam), gr
d = berat b.u. keadaan SSD, gr
e = berat b.u. didalam air, gr
f = volume b.u. = d- e, cc
g = berat volume b.u. = c/f, gr/cc

h = B.J. maximum teoritis, gr/cc = $\left\{100 : \left(\frac{\%agr}{B.J.agr} + \frac{\%aspal}{B.J.aspal}\right)\right\}$

B.J. agregat adalah dari campuran agregat

i = Volume aspal = $\frac{b \times g}{BJ\ Agregat}(\%)$

j = Volume agregat = $\frac{(100-b) \times g}{BJ\ Agregat}(\%)$

k = kadar rongga dalam campuran = (100 - i.-j_{cf}), %

l = kadar rongga dalam agregat (VMA) = (100 - j_{cur}), %

m = rongga yang terisi aspal (VFWA) = $\left(\frac{VMA - VITM}{VMA} x100\right)(\%)$

n = rongga terhadap campuran (VITM) = $\left(100 - \frac{100 \times g}{h}\right)(\%)$

o = nilai pembacaan arloji stabilitas
p = o x kalibrasi proving tebal b.u., Kg
r = stabilitas = p x koreksi tebal b.u., Kg
r = kelelahan plastis (flow), mm
Mq = Marshall Quotient, Kg/mm

D). Wheel Traching Machine (t = 60 C, deformasi awal, stabilitas dinamis, kecepatan deformasi)

E). Contoh persyaratan yang harus dipenuhi

Persyaratan campuran	BM.1983	BM.1987	BM.1998
1. Stabilitas	> 750	> 550	≥ 800
2. Kelelahan (mm)	2 -4	2 -4	≥ 2
3. Hasil Bagi Marshall (Kg/mm)	-	200 – 350	200 – 500
4. Rongga dalam agregat (%)	-	> 14*	≥ 16
5. Rongga terisi aspal ,VFWA,%	75 – 82	-	≥ 65
6. Rongga dalam campuran, VITM,%	3 – 5	3 – 5	3 – 5
7. Index peredaman(%)	-	> 75	≥ 75
8. Dust proption	-	-	-

Ketertangan : * tgt. ukuran butiran terbesar

BAB VII

ADESI

Adesi antara batu dan bitumen tergantung dari sifat-sifat batu dan bitumen itu sendiri. Secara umum persyaratannya adalah :

1. Batu : bersih dari kotoran/debu, dan kering.
2. Bitumen : mempunyai workability yang memadai sesuai dengan tujuan penggunaannya.

7.1. Sifat Bitumen

a. Tegangan Permukaan (surface tension)

Tegangan permukaan untuk tar dan bitumen k.l. 30 dyne/cm. secara umum dapat digunakan dan dicampur dengan batu secara baik jika batunya bersih dan kering dengan kekentalan bitumen yang pantas.

b. Kekentalan (viscosity)

Kekentalan bitumen ini akan mempengaruhi :

1. *Mechanical interlock* antara bitumen dan permukaan (by flow).
2. *Capilary attraction* pada permukaan batu (roughness, surface porosity → penyerapan aspal oleh batu).
3. *Electro - chemi*cal bounds antara batu dan bitumen.
4. *Mechanical - chemical* bounds antara batu aspal (untuk melawan bahaya *stripping*)

Secara umum dapat dikatakan bahwa :

→ Kekentalan yang rendah (lebih cair) dari bitumen akan lebih mudah menyelubungi permukaan agregat, tetapi film aspal tersebut juga akan mudah mengelupas/*stripping* akibat adanya air.

→ Kekentalan yang tinggi (lebih solid) dari bitumen akan lebih sukar menyelubungi permukaan agregat, tetapi film aspal tersebut juga akan lebih tahan terhadap *stripping* walaupun ada air.

→ Jadi dari segi kekentalan sebaiknya digunakan bitumen dengan kekentalan tinggi, dan untuk pelaksanaannya kekentalan itu harus dapat diturunkan agar dapat diperoleh *workability* yang baik.

c. Sifat kimia - elektrik (electro - chemical properties)

Dari sudut ini ada 4 unsur penting yang ada dalam bitumen, yaitu :

1. Bagian koloid (*colloidal particle*)
   Bagian koloidal ini umumnya bermuatan negatif, sehingga akan timbul adesi yang baik dengan agregat bermuatan positif, tetapi sebaliknya tidak ada adesi yang baik dengan agregat yang bermuatan negatif.
2. Unsur yang tak bermuatan (*uncharge*) dan tak berkutub (*apolar*)
   Unsur ini antara lain : *benzene* dan *saturated hidrocarbon*, dan unsur ini daya adesinya kecil sekali. Namun demikian daya adesi juga akan muncul jika bersentuhan dengan permukaan agregat yang bermuatan. Tambahan pula bila bertemu dengan agregat kering akan terjadi adesi yang kuat. Namun demikian adesi yang kuat ini dapat segera berkurang apabila ada film air.
3. Kutub asam dan basa
   Unsur yang mempunyai 2 kutub yang terbuka yaitu kutub positif dan negatif, sehingga dapat beradesi dengan agregat yang bermuatan negatif maupun nermuatan positif. Dari hasil penyelidikan ternyata kutub biasa mempunyai adesi yang lebih tinggi dibanding kutub asam.

Dari uraian di atas tampak bahwa bitumen mempunyai daya ikat yang rendah terhadap batu dibanding dengan air. Agar daya ikat baik (dengan batu yang basah) maka perlu ditambahkan *adhesion agent*.

7.2. Sifat Agregat

a. ***Electro-chemical status of the mineral aggregate surfaces.***
Adesi antara aspal dan batu terjadi karena adanya tarik menarik antara molekul dan penyerapan. Daya tarik (affinity) antara batu dan air lebih besar dari daya tarik batu dan aspal, karena batu bersifat suka air (hydrophilic).

b. ***Surface texture.***

a) *Mineral composition* dikaitkan dengan *stripping*.
   Batu yang baik untuk melawan kemungkinan terjadinya *stripping* dan *limestone*, *dolomites*, *batuan beku basa*. Bentuk angular dan kubikal juga memberikan kontribusi akan terjadinya ikatan yang baik.

b) *Degree of crystallinity*.
   Unsur yang membentuk kondisi permukaan adalah *microcrystallin* dan *crptocrystalline*. Permukaan yang kasar menimbulkan tahanan terhadap *stripping* yang lebih baik bila dibanding dengan permukaan yang halus.
   Karena penggantian bitumen dengan air melibatkan adanya energi permukaan (*surface energy*) yaitu perbedaan antara energi pada interface batu - aspal dengan energi pada interface batu - air. *Surface energy* ini besarnya berbanding langsung dengan permukaan, dan luas permukaan akan lebih besar pada permukaan yang kasar dibanding dengan permukaan yang halus.
c) *Porosity*.
   Permukaan agregat yang halus merupakan modal awal adanya adesi yang baik. Tetapi porositas yang tinggi berarti daya serap terhadap air juga tinggi, sehingga ikatan yang baik antar bitumen dan agregat itu dengan mudah akan dilemahkan oleh adanya air, yaitu :
   - air di dalam agregat, karena agregat tidak kering sempurna.
   - air yang masuk ke agregat melalui celah/retak dari film bitumen yang pertama kali.
d) Bentuk butiran/*particle shape*.
   Pecahnya fil butimen yang mengelilingi agregat tergantung dari bentuk partikel agregat. Suatu butiran batu yang diselubungi film aspal padanya akan terjadi :
   1. Film aspal yang menyelubungi batu akan pecah lebih dahulu pada bagian batu yang runcing.
   2. Tegangan permukaan akan cenderung mengecilkan luasan bitumen seminimum mungkin, sehingga akan membantu pecahnya film aspal tersebut.

Dari keadaan tersebut maka :

- Agregat yang bulat (*rounded*) lebih tahan terhadap stripping dibanding dengan agregat yang angular (*crushed rock aggregate*), jadi dari segi bentuk agregat maka agregat bulat akan lebih baik.
- Hal ini tidak akan mempengaruhi tentang terjadinya proses adesi.

Untuk selanjutnya dalam menentukan tebal perkerasan tiap jenis lapis perkerasan ditetapkan nilai kekuatan lapis perkerasan yang juga disebut koefisien kekuatan relatif (a).

BAB VIII

ANGKA EKUIVALEN

AASHTO telah melakukan penelitian perkerasan (lentur dan kaku). Pada waktu melakukan penelitian beban gandar tunggal *(single)* sebesar 18.000 lbs (atau 8,16 ton). Beban gandar tunggal tersebut selanjutnya disepakati sebagai beban gandar standar (SAL), dan dijadikan dasar untuk menganalisis beban gandar - beban gandar kendaraaan dengan cara menetapkan angka ekuivalennya.

Angka ekuivalen dari suatu beban gandar kendaraan adalah angka yang menyatakan jumlah lintasan sumbu tunggal seberat 8,16 ton (18000 lbs) yang akan menyebabkan derajat kerusakan yang sama apabila beban gandar tersebut lewat satu kali. Dengan angka ekuivalen tersebut selanjutnya lalu lintas sebagai beban perkerasan dinyatakan dalam SAL. Angka ekuivalen sebagai dasar dalam menganalisa lalu lintas sebagai beban perkerasan. Hampir tiap metode menetapkan nilainya sendiri-sendiri yang kadang hasilnya berjauhan.

1. AASHTO

Dari hasil percobaan AASHTO didapat 4 persamaan dasar. Dari persamaan ini akan dapat ditentukan nilai angka ekuivalen, juga disebut *traffic equivalen factor* (TEF), bagi suatu beban gandar. TEF ini nilainya dipengaruhi oleh :

- nilai tebal perkerasan (*structural number*/SN)
- nilai index permukaan terminal
- beban gandar
- jenis gandar

2. Bina Marga

Dasar yang digunakan adalah memodifikasi rumus dasar yang disajikan oleh AASHTO, sehingga diperoleh suatu persamaan untuk menentukan angka ekuivalen.

Nilai angka ekuivalen (E) dipengaruhi oleh :

- beban sumbu gandar
- jenis gandar, untuk ini diambil koefisien (b) = 0,086

3. Road Note

Angka ekuivalen sering disebut *equivalent factor (EF),* nilainya juga dikembangkan dari TEF AASHTO. Nilai EF dipengaruhi oleh beban gandar saja.

4. The Asphalt Institute

Angka ekuivalen juga disebut *load equvalent factor (LEF).* LEF ditentukan juga dari angka yang diusulkan oleh AASHTO, dan AI nilai beban dasar 80 KN. Nilai LEF dipengaruhi oleh :

- beban gandar
- jenis gandar

5. Muatan Kendaraan

Muatan kendaraan akan berkaitan dengan beban gandar dan selanjutnya ke angka ekuivalen. Kenyataan menunjukkan bahwa kenaikan muatan atau beban gandar diikuti dengan meningkatnya angka ekuivalen secara tidak linier. Menurut Bina Marga misalnya, apabila beban gandar naik menjadi 2 kali, maka angka ekuivalen akan naik menjadi 16 kali yang berarti tingkat kerusakan yang ditimbulkan oleh gandar tadi bertambah 14 kali.

Untuk itu perlu usaha agar ketentuan tentang batas muatan ijin maksimum atau beban gandar maksimum dapat selalu dipatuhi. Dari ketentuan yang ada khususnya bagi kendaraan angkutan barang akan ada pembatasan :

- MST : muatan sumbu terberat
- JBB : jumlah berat beban (kendaraan+penumpang+barang)
- DAI : daya angkut ijin
- JBI : jumlah berat yang diijinkan

Pengawaasan terhadap pembatasan tersebut dapat dilakukan dengan pengawasan melalui jembatan timbang. Usaha lain adalah dengan cara menganjurkan untuk menambah jumlah gandar kendaraan tersebut.

BAB IX

INDEX PERMUKAAN DAN INDEX TEBAL PERMUKAAN

9.1. Indeks Permukaan

Indeks permukaan (IP) atau serviceability index (AASHTO) adalah suatu angka yang digunakan untuk menyatakan kerataan/kehalusan serta kekokohan permukaan perkerasan jalan yang bertalian dengan tingkat pelayanan bagi lalulintas yang lewat.

Menurut AASHTO, present serviability index nilainya berkisar antara 0-5, dan dipengaruhi oleh :

- *mean slope variance*
- *cracking*
- *patching*
- *rut depth*
- *roughness*

Untuk perkerasan yang baru nilai IP (awal) juga dipengaruhi oleh bahan lapis tersebut, dengan nilai tertinggi 4,2 (AASHTO). Nilai ini akan terus menurun dengan makin bertambahnya kendaraan yang melewati perkerasan. Nilai IP (terminal) dapat bervariasi tergantung kelas jalan, misalnya IPt = 1,5 atau 2,0 atau 2,5. periode IP awal sampai dengan IP terminal adalah merupakan umur rencana perkerasan tersebut.

9.2. Index Tebal Perkerasan

Index tebal perkerasan (ITP) atau stuctural number (SN) menurut AASHTO adalah angka yang berhubungan dengan tebal perkerasan.

Dalam penentuan tebal perkerasan lentur yang akan dihitung adalah ITP atau SN

$$ITP = a1D1 + a1D2 + a3D3$$

a = koefisien kekuatan relatif bahan
D = tebal perkerasan, dengan index 1, 2, 3 menunjukkan lapis permukaan, lapis pondasi, dan lapis pondasi bawah.

BAB X

JALAN TAK BERASPAL

Jalan tipe ini terutama menggunakan bahan *soil aggregate mixture*, yaitu campuran bahan yang terdiri dari batu, tanah, pasir, lumpur, dan lempung. Campuran tersebut dibuat dengan perbandingan tertentu sehingga setelah dipadatkan akan merupakan lapis perkerasan yang padat dan kuat.

Pertimbangan utama dalam memilih jalan tanpa penutup aspal adalah volume lalulintas. Suatu jalan dengan volume lalulintas yang tidak terlalu besar, untuk sementara waktu jalan dengan ditutupi aspal masih dapat ditangguhkan. Arus lalulintas ± 50 kendaran per hari, prasarana jalan tak beraspal masih dapat memenuhi kebutuhan. Pada keadaan ini debu dan materi lepas yang timbul akibat kendaraan yang lewat belum begitu menimbulkan gangguan serta untuk mempertahankan kondisi permukaan jalan belum diperlukan pekerjaan pemeliharaan perkerasan yang cukup intensif.

Apabila volume lalulintas meningkat sampai ± 100 kendaraan per hari, debu dan materi lepas yang terjadi sudah akan menimbulkan gangguan yang berarti. Dengan volume lalulintas ini pekerjaan pemeliharaan sudah cukup intensif. Untuk volume sebesar ± 300 kendaraan per hari pekerjaan pemeliharaan sudah cukup tinggi dan dengan demikian adanya jalan beraspal sudah diperlukan.

10.1 Bahan Jalan

Bahan jalan diusahakan rapat dengan ukuran butiran maksimum 2,5 cm, karena jika ukuran batuan besar akan sulit untuk mendapatkan permukaan yang rata dan juga nanti dalam pemeliharaannya.

Campuran bahan tersebut sebaiknya dapat diperoleh langsung di lapangan atau mencampur bahan bahan setempat, yang demikian akan dapat menekan biaya pelaksanaannya. Apabila harus mencampur beberapa bahan, sebaiknya digunakan maksimum dari dua sumber bahan saja, dengan demikian pelaksanaannya relatif mudah dan mendapatkan bahan campuran yang homogen.

Contoh gradasi yang dianjurkan :

Tabel 10.1

Ayakan nomor	1"	3/8"	4	10	40	200
% lewat	100	50 - 85	35 - 65	25 - 50	15 - 30	5 - 15
% lewat	100	60 - 100	50 - 85	40 - 70	25 - 45	5 - 20

10.2. Lapis Permukaan

Untuk lapis permukaan jalan dapat dari bahan yang berbeda, dan dari bahan tersebut muncul istilah antara lain sebagai berikut :

a. Jalan tanah
   Lapis permukaan jalan dibuat dengan bahan tanah setempat, bahan tersebut kadang-kadang tercampur dengan kerikil ataupun batu pecah.
b. Jalan kerikil
   Lapis permukaan dibuat dengan bahan kerikil, dengan ukuran butir maksimum 2,5 cm. kerikil tersebut dicampur dengan pasir dan tanah liat sebagai pengisi dan bahan ikat. Pada umumnya bahan campuran tersebut sudah dapat diperoleh di alam.
c. Jalan makadam
   Lapis permukaan jalan dibuat dari lapisan makadam.
d. Jalan AWCAS *(all weather compact aggregate subgrade)*.
e. JAPAT (jalan agregat padat tahan cuaca).

10.3. Bahu Jalan

Fungsi bahu jalan antara lain adalah untuk menahan perkerasan dari samping. Pada jalan tak beraspal, bahu jalan dibuat dari tanah dan kemudian ditanami rumput. Mengingat pada umumnya volume lalulintas cukup kecil, bahu jalan dapat dibuat lebih sempit dengan kemiringan melintang yang lebih besar, di samping menghemat juga air hujan di permukaan jalan akan cepat mengalir keluar masuk selokan. Ukuran bahu jalan yang lazim, adalah 1 - 1,5 m dengan kemiringan 6 %.

10.4. Selokan Samping

Jalan tak beraspal sangat peka terhadap air, sehingga air yang ada dijalan perlu segera disalurkan keluar secepatnya. Untuk itu diperlukan selokan samping, selain itu :

- Kemiringan melintang permukaan jalan dibuat lebih besar dari kemiringan jalan beraspal, dimaksudkan untuk mempercepat air mengalir. Karena permukaan jalan ini lebih kasar, maka kemiringan tersebut umumnya 4 %.
- Dalam selokan harus cukup, sehingga air yang masuk selokan akan selalu berada di bawah lapis pondasi jalan. Dengan demikian air tadi tidak akan mengganggu lapis permukaan.

10.5. Kerusakan

Jalan tak beraspal dengan bahan-bahan seperti yang telah diuraikan di depan, akan sangat peka terhadap air dan ditambah adanya gaya (arah vertikal maupun horizontal) akibat kendaraan yang lewat maka beberapa bentuk kerusakan jalan adalah sbb :

a. Pengausan
   Dengan naiknya kadar air pada lapis permukaan, daya ikat berkurang dan melemahkan ikatan antar batuan. Roda kendaraan yang lewat disertai gaya horizontal (traksi) akan mengaus permukaan jalan sehingga permukaan butiran/batu akan lepas, akibatnya permukaan jalan menjadi tidak rata lagi.
b. Bergelombang
   Butiran permukaan yang lepas akibat ikatan yang lemah, akan berkumpul membentuk gundukan-gundukan dan butiran besar akan tampak di antara gundukan tersebut. Selanjutnya permukaan jalan akan tidak rata dan bergelombang.
c. Alur dan cekungan
   Air di permukaan jalan akan melemahkan daya dukung perkerasan, dan akibat beban roda, permukaan jalan akan turun. Mengingat lebar jalan yang kecil, jejak roda akan terjadi pada tempat yang sama, sehingga terjadilah bentuk alur dan cekungan.
d. Lubang
   Ikatan lapis permukaan yang lemah dapat berakibat lepasnya batu-batu di permukaan dan terbentuklah lubang. Lubang ini jika dibiarkan kian lama akan bertambah besar.

e. Erosi permukaan dan bahu jalan
   Di daerah berlandai besar, yaitu tanjakan atau turunan, air hujan yang turun di permukaan jalan akan mengalir dengan arah yang hampir sama, sehingga terjadi penggumpalan air yang mengalir. Aliran air ini akan semakin deras bila landai jalan semakin besar selanjutnya terjadilah erosi pada permukaan dan bahu jalan.
f. Tanah dasar menjadi lembek
   Air dapat merembes ke tanah dasar. Hal ini terjadi akibat :
   - Jalan tidak rata, air hujan akan menggenang dan merembes ke bawah.
   - Air tanah yang tinggi, serta tidak tersedianya selokan yang cukup dalam, dapat akan merembes ke tanah dasar.
   - Air di selokan samping yang tidak tersalurkan dengan baik akan dapat merembes ke badan jalan.

10.6. Pemeliharaan

Pekerjaan pokoknya adalah mengusahakan air agar dapat segera keluar, yaitu dengan cara :

a. Mengusahakan agar selokan samping dapat berfungsi sebaik-baiknya.
b. Mengusahakan agar permukaan jalan tetap rata dan baik, dengan cara cukup menutup lubang-lubang yang timbul dan tetap menjaga adanya kemiringan permukaan yang cukup.
c. Merawat bahu jalan agar tetap rata dan kemiringan tetap (± 6 %). Apabila bahu jalan ternyata lebih tinggi dari permukaan jalan setempat, perlu dibuatkan alur-alur yang memotong bahu jalan guna meneruskan air.
d. Bagian jalan dengan landai n > 7 % dan panjangnya > 100 mm, sebaiknya permukaan jalan ditutup dengan lapisan beraspal. Lapisan ini dimaksudkan untuk memberikan ikatan yang baik di permukaan sehingga pada waktu hujan tidak terjadi erosi.

Mengingat volume lalulintas bertambah, maka pekerjaan pemeliharaan sebaiknya diarahkan pada jalan yang beraspal sambil meningkatkan kualitaas perkerasan.

BAB XI

TEBAL PERKERASAN

Metode penentuan tebal perkerasan dikelompokkan menjadi 3, yaitu:
- Metode empiris
  a. Berdasar klasifikasi tanah
  b. Berdasar kekuatan tanah
- Metode empiris semi teoritis

11.1. Metode Empiris

11.1.1. Berdasar klasifikasi tanah

a. Metode group index

Metode ini dikembangkan tahun 1945 oleh Research Board USA, penggunaannya dewasa ini sangat terbatas.

1) Tanah dasar

Daya dukung tanah dasar dinyatakan dengan *group index*.
Group index adalah angka yang menunjukkan klasifikasi tanah sebagai *subgrade*.

$$GI = 0{,}2\,a + 0{,}005\,a\,c + 0{,}1\,b\,d$$

GI= group index, nilainya berkisar antara 0 - 20
Nilai yang rendah menunjukkan bahwa tanah tersebut makin baik untuk subgrade.
a = % butiran lewat ayakan no.200, dengan batasan harga $35<a<75$
b = % butiran lewat ayakan no.200, dengan batasan harga $15<b<55$
c = batas cair, dengan batasan $40 < c < 60$
d = batas cair, dengan batasan $10 < d < 30$

2) Lalulintas, dibagi menjadi 3 menurut kendaraan komersial per hari :
- lalulintas ringan : < 50
- lalulintas sedang : 50 - 300
- lalulintas berat : > 300

3) **Faktor regional**, yang diperhitungkan adalah kondisi drainase dan pengaruh pembekuan.
4) **Tebal perkerasan**, dengan nomogram.

b. Civil Aeronautics Administration, USA
Metode ini diperuntukkan bagi perkerasan lapangan terbang.

11.1.2. Berdasar kekuatan tanah

1. Metode CBR

Tes CBR dikembangkan tahun 1930-an oleh O.J. Porter, untuk membedakan batu pecah kualitas rendah dan kualitas tinggi bagi lapis pondasi. Padi akhir tahun 1930-an tes CBR dikembangkan untuk evaluasi tanah dasar (*subgrade*).

a. Tanah dasar, daya dukung tanah dasar dinyatakan dengan nilai CBR.
b. Lalulintas, dibedakan menjadi lalulintas ringan dengan beban roda maksimum 7000 lbs dan lalulintas rata-rata dengan beban roda maksimum 12000 lbs.
c. Tebal perkerasan, dengan nomogram.

Metode ini diadopsi oleh US Corp of Engineers untuk perancangan lapangan terbang, dengan ekstrapolasi kurva untuk beban roda antara 20000 - 150000 lbs.

Sejalan dengan metode ini The Asphalt Institude juga mengembangkan metode CBR untuk perkerasan jalan raya.

Metode The Asphalt Institude

a. Lalulintas
   1) Berat kendaraan
      Berat kendaraan yang dicerminkan dengan beban gandar, akan berpengaruh terhadap tebal perkerasan. Untuk perencanaan tebal perkerasan diambil beban gandar maksimum yang akan melewati jalan tersebut. Kini akan sejalan dengan adanya klasifikasi jalan yang berdasarkan beban gandar maksimum.

   2) Frekuensi pembebanan
      Frekuensi pembebanan ditunjukkan dengan besar volume lalulintas yang akan ditampung jalan tersebut. Metode ini mengelompokkan lalulintas menjadi 3 berdasarkan :

- berat kendaraan, yaitu kendaraan ringan (< 600 lbs) dan berdasarkan berat (> 600 lbs).
- kepadatan lalulintas maksimum per lajur per hari.

Tabel 11.1

Klasifikasi Lalulintas	Kepadatan Lalulintas	
	Kendaraan Ringan	Kendaraan Berat
1. ringan	25	5
2. sedang	500	25
3. berat	tak terbatas	500
4. sangat berat	tak terbatas	tak terbatas

b. Tanah dasar
Daya dukung subgrade dinyatakan dengan CBR.
Untuk suatu ruas jalan dengan panjang tertentu data CBR subgrade dapat lebih dari satu data, untuk itu perlu ditetapkan nilai CBR yang mewakilinya (CBR desain).
Cara menentukan CBR disain :
1) Diambil nilai yang terkecil dari data CBR yang ada, atau
2) Dihitung sebagai berikut :
   - Tentukan nilai CBR yang ternedah
   - Tentukan berapa banyak nilai CBR yang sama dan yang lebih besar dari tiap-tiap nilai CBR.
   - Angka jumlah terbanyak dinyatakan dengan 100 % dan jumlah yang lainnya merupakan prosentasenya.
   - Dibuat garis korelasi antar nilai CBR dan prosentase jumlah
   - Nilai CBR disain diambil dari garis korelasi tersebut yang ditunjukkan oleh angka 90 %.

c. Nomogram tebal perkerasan
Dalam menggunakan nomogram beberapa hal yang perlu diperhatikan :
- Tempat pemberhentian bus sebaiknya direncanakan dengan kelas lalulintas yang satu tingkat lebih tinggi dari kelas lalulintas jalan raya.

- Tempat parkir sebaiknya direncanakan dengan kelas lalulintas berat
- Tebal lapis pondasi dianjurkan minimum 4" dengan bahan CBR >80
- Tebal lapis permukaan yang dianjurkan.

Tabel 11.2

Jenis bahan	Kelas lalulintas				Satuan
	Ringan	Sedang	Berat	Sangat berat	
Pengaspalan dua lapis	1	1	-	-	inchi
Makadam	2	2	2,5	-	inchi
Beton aspal	2	3	3	4	inchi

2. Metode tes penetrasi

Tes penetrasi ini dikembangkan oleh North Dakota State Highways Department. Metode ini banyak digunakan oleh berbagai institute di USA untuk menentukan tebal perkerasan fleksibel.

$$T = 65,7 / B. 0,338$$

T = tebal (inchi)
B = nilai tekanan konus (psi)

11.2. Metode Empiris Semi Teoritis

a. Metode AASHTO

Dari hasil penelitian AASHTO didapat 3 persamaan dasar. Dari persamaan tersebut telah diturunkan cara untuk menentukan angka ekuivalen dan tebal perkerasan. Nilai angka ekuivalen, menurut AASHTO dipengaruhi oleh :

1. structural number
2. index permukaan terminal
3. beban gandar
4. jenis gandar

a. Perkerasan lentur.
Tebal perkerasan dipengaruhi oleh beban dalam SAL, yang melewati lajur rencana, index permukaan terminal, faktor regional dan daya dukung tanah. Hubungan variabel tersebut disajikan dalam bentuk persamaan dan nomogram.

b. Perkerasan kaku
Tebal perkerasan dipengaruhi oleh beban dalam SAL yang melewati lajur rencana, index permukaan terminal, mutu beton (modulus elastisitas dan modulus of), serta daya dukung tanah (k - value).
Hubungan variabel tersebut disajikan dalam bentuk persamaan dan nomogram.

b. Metode Bina Marga

1. Perkerasan lentur
Metode ini dikembangkan dari hasil percobaan AASHTO yang disesuaikan dengan kondisi di indonesia.
   a) Tanah dasar, daya dukung tanah dasar dinyatakan dengan CBR.
   b) Lalulintas :
      - Beban gandar kendaraan, kerusakan yang ditimbulkan oleh gandar tersebut dinyatakan dalam beban gandar dengan satuan angka ekuivalen (E)
      - Frekuensi pembebanan dinyatakan dengan volume lalulintas
   c) Bahan perkerasan, kualitas bahan dinyatakan dengan koefisien kekuatan relatif (a) dan sebagai dasar adalah beton aspal. Nilai a tergantung pada kualitas bahan.
   d) Faktor regional, diperhitungkan dengan cara memasukkan faktor koreksi atas tebal perkerasan yang didapat.
   e) Tebal perkerasan, penentuan tebal perkerasan berdasar data yang diperlukan disajikan dalam nomogram.
2. Perkerasan kaku
Metode ini dikembangkan dari pavement design untuk perkerasan kaku NASSRA.

BAB XII

PERTEMUAN JALAN

Jalan sebagai prasarana pendukung arus lalulintas, agar arus tersebut dapat berjalan dengan lancar. Suatu jalan tidak akan terlepas dari kemungkinan pertemuan dengan jalan lain. Dengan bertemunya dua jalan atau lebih, arus lalulintas juga akan saling bertemu. Untuk dapat memberikan pelayanan baik maka pertemuan arus lalulintas dan pertemuan jalan haruslah direncanakan sebaik-baiknya.

12.1. Pertemuan Arus Lalulintas

Bentuk dasar pertemuan arus lalulintas adalah sebagai berikut :

a. *Crossing* (perpotongan)
b. *Diverging* (bercabang)
c. *Merging* (bergabung)
d. *Weaving* (berpotongan dalam arah sejajar)

Dalam mengatur pertemuan arus lalulintas perlu diperhatikan :

a. Mengutamakan arus lalulintas yang volumenya lebih besar dan berkecepatan yang lebih tinggi (juga mengingat kelas jalan).
b. Memperkecil jumlah titik pertemuan (titik konflik).
c. Menghindarkan *merging* dan *diverging* terjadi berdekatan.
d. Mengecilkan daerah simpang siur.

Agar arus lalulintas dapat berjalan dengan lancar di daerah pertemuan jalan maka perlu ditetapkan bentuk pengaturan prioritas arus lalulintas di daerah pertemuan jalan. Bentuk pengaturan tersebut antara lain :

- *Implicit atau non priority* (tidak diatur)
- *Major minor priority* (prioritas arus pada jalan utama)
- *Off side priority* (prioritas atau arus yang menuju ke pusat pertemuan)
- *Near side priority* (prioritas atau arus yang meninggalkan pusat pertemuan)
- *Traffic signal priority* (prioritas diatur dengan lampu lalulintas)

12.2. Pertemuan Jalan

Pertemuan jalan dapat dikelompokkan menjadi 3 (tiga), yaitu :

a. Pertemuan sebidang (at grade intersection)
b. Persilangan jalan (grade separation without ramps)
c. Pertemuan tidak sebidang (merchange)

Pertemuan jalan yang akan dipilih haruslah dapat mengimbangi kelancaran arus pada ruas jalannya, bentuk pertemuan terutama tergantung dari ketentuan-ketentuan perencanaan jalan yang bersangkutan. Ketentuan tersebut antara lain : kecepatan rencana, volume lalulintas, pembagian jurusan. Kondisi yang ada menunjukkan bahwa arus lalulintas yang membelok ke kanan perlu mendapat perhatian khusus.

12.3. Pertemuan Sebidang

Pertemuan ini banyak dijumpai, dan pertemuan ini dapat menampung arus lalulintas baik yang menerus ataupun yang membelok sampai batas tertentu. Jika kemampuan menampung arus lalulintas tersebut telah dilampaui akan nampak dengan munculnya tanda-tanda kemacetan arus lalulintas. Karena pertemuan ini dapat terdiri atas beberapa cabang maka pertemuan ini dapat dikelompokkan menurut jumlah cabangnya, yaitu :

- Pertemuan jalan sebidang bercabang tiga
- Pertemuan sebidang bercabang empat
- Pertemuan jalan sebidang bercabang banyak (lima atau lebih)
- Bundaran

12.3.1. Pertemuan Sebidang Bercabang Tiga

Pertemuan ini dapat berbentuk huruf T atau Y. Pada prinsipnya kedua bentuk ini sama, hanya berbeda pada sudut antara cabang-cabang pertemuan, yaitu ada yang tegak lurus, lancip atau tumpul. Untuk volume lalulintas membelok yang makin besar, dapat diatasi dengan penambahan jalur di daerah pertemuan. Bila perlu dibuatkan jalur-jalur yang terpisah dengan cara memasang pulau lalulintas, yang manfaatnya antara lain :

- Sebagai pemisah jalur lalulintas.
- Mengurangi luas perkerasan di daerah pertemuan jalan.
- Tempat memasang rambu-rambu lalulintas.

Bentuk pulau lalulintas dapat bervariasi tergantung kondisi di pertemuan jalan.

12.3.2. Pertemuan Sebidang Bercabang Empat

Pertemuan ini dengan jumlah cabang empat, dengan sudut pertemuan siku-siku atau lancip dan tumpul, kadang ada yang sedikit bergeser pada arus membelok yang membesar dapat diadakan penyelesaian seperti pada pertemuan bercabang tiga.

12.3.3. Pertemuan Sebidang Bercabang Banyak

Pertemuan bentuk ini sebaiknya dihindari, misalnya dengan cara sedikit menggeser salah satu cabangnya. Namun demikian apabila volume lalulintas pada cabang relatif kecil, bentuk pertemuan ini masih dimungkinkan.

12.3.4. Bundaran (rotary intersection)

Bundaran sangat cocok untuk membuat pertemuan bercabang banyak, dan dapat diterapkan pada berbagai keadaan. Besarnya jari-jari bundaran dipengaruhi oleh jumlah jalur dan volume lalulintas, sehingga semakin besar volume lalulintas akan semakin besar jari-jari bundaran. Daerah pertemuan yang diperlukan cukup luas, dan sebaiknya bundaran dibuat pada daerah yang datar. Tujuan dari pertemuan bentuk bundaran ini adalah untuk menciptakan suatu arus lalulintas melingkar dan tidak berhenti. Dengan demikian pemasangan lampu lalulintas di bundaran adalah sudah tidak sesuai lagi dengan tujuan semula, dan hal ini terpaksa dilakukan karena volume lalulintas sudah melebihi daya tampungnya dan penyesuaian jari-jari bundaran untuk menyediakan daerah weaving yang sesuai sudah tidak memungkinkan lagi.

12.4. Persilangan Jalan

Persilangan jalan merupakan pertemuan tidak sebidang yang tanpa ada *ramp*. Persilangan ini dibuat demikian karena :

- tidak diberikan kesempatan bagi arus lalulintas untuk saling membelok atau berpindah dari cabang jalan yang saling bertemu.
- semua atau salah satu arus lalulintas tidak boleh diganggu.

Rencana geometri persilangan ini harus diusahakan sedemikian rupa sehingga bangunan persilangan tidak memberikan kesan jalan menjadi sempit atau sebagai hambatan bagi arusnya. Arus lalulintas harus dapat berjalan seolah-olah tidak ada persilangan, hal ini dapat dilakukan dengan cara menyediakan ruang bebas dan jarak pandangan yang cukup di daerah persilangan. Ditinjau dari salah satu cabang jalan yang bertemu, persilangan jalan dapat berbentuk :

- Persilangan di atas (over pass)
- Persilangan di bawah (under pass)

Pemilihan dari bentuk-bentuk itu sangat tergantung dari keadaan medan dan volume lalulintas pada cabang-cabangnya.

12.5. Pertemuan Tidak Sebidang

Pada keadaan tertentu semua arus lalulintas baik yang menerus maupun yang membelok dituntut untuk tidak diganggu. Untuk itu arus lalulintas di tiap cabang tidak terganggu dan tidak saling menimbulkan gangguan dapat diadakan pemisahan bidang pertemuan dengan membuat *interchange*. Bentuk pertemuan ini dapat bervariasi, misalnya :

- daun semanggi (cloverleaf)
- *diamond*
- *trumpet*
- dan lain-lain

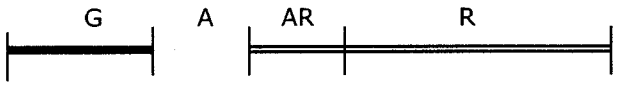
12.6. Lampu Lalulintas *(traffic signal)*

Lampu lalulintas dipasang dengan tujuan untuk mengatus prioritas untuk melewati daerah pertemuan jalan. Arus lalulintas pada tiap-tiap cabang diberi prioritas melewati daerah pertemuan jalan secara bergantian sesuai dengan pengaturan lampu lalulintas yang telah ditetapkan.

a. Warna nyala lampu

- ♦ Hijau *(green)* ____ G : jalan
- ♦ Kuning *(amber yellow)* ____ A : hati-hati
- ♦ Merah *(red)* ____ R : berhenti

b. Urutan penggunaan nyala lampu
Pada umunya urutan yang banyak dijumpai adalah :



1) *Amber*
Nyala ini dipasang karena adanya percobaan kecepatan kendaraan dari kecepatan tertentu selama beberapa periode G ke kecepatan nol pada periode AR dan R. jika kendaraan memasuki daerah pertemuan jalan, dan melihat lampu kuning sudah menyala maka pengendara harus menghentikan kendaraannya. Periode nyala lampu kuning cukup pendek, kurang lebih sama dengan waktu yang diperlukan bagi kendaraan untuk melewati daerah pertemuan.
2) *Green Red*
Jika suatu arus lalulintas pada cabang tertentu terkena nyala lampu R, arus lalulintas pada cabang yang lain akan mendapatkan nyala lampu G. hal ini sesuai dengan tujuan pemasangan lampu lalulintas yaitu untuk mengatus pemberian prioritas di pertemuan jalan. Periode nyala lampu ini disesuaikan dengan volume lalulintas pada cabang terkait serta mempertimbangkan keadaan di daerah pertemuan jalan.
3) *All Red*
All red adalah periode dimana semua lampu menyala merah. Periode ini dimaksudkan untuk membersihkan daerah pertemuan jalan (clearance loss) dari kendaraan yang mungkin melakukan pelanggaran (menyerobot). Periode all red berlangsung kurang lebih 3 detik.

c. Aliran lalulintas jenuh *(saturation flow)*.
Pada suatu cabang yang berlampu lalulintas, apabila lampu R menyala akan didapatkan deretan kendaraan yang berhenti. Jika kemudian lampu G menyala atau arus lalulintas di cabang tersebut diberi prioritas, maka akan terjadi aliran lalulintas dan apabila secara berurutan lampu kuning dan lampu merah menggantikannya menyala maka aliran kendaraan akan terhenti. Dari keadaan ini dapat digambarkan hubungan antara lama lampu menyala dengan jumlah kendaraan yang lewat.
1) Bagian awal nyala lampu G, selama beberapa detik, aliran kendaraan yang lewat belum menunjukkan adanya aliran yang tetap. Hal ini disebabkan pada saat itu terjadi perubahan kecepatan kendaran. Lama kendaraan ini berlangsung tergantung keadaan setempat (misal : kondisi permukaan jalan,

landai jalan) dan biasanya dikenal dengan *starting loss* berlangsung sekitar 2 deti. Dalam gambar ditunjukkan dengan garis lengkung cekung.

2) Setelah melampaui *starting loss* kendaraan akan mengalir dengan debit tetap, aliran kendaraan yang tetap ini disebut *saturation flow*. Pada gambar ditunjukkan oleh garis lurus bersudut terhadap datar.

3) Setelah lampu merah padam dan diikuti dengan nyalanya lampu kuning dan lampu merah secara berurutan, berarti pemberian prioritas bagi arus tersebut dihentikan. Pengendara begitu melihat lampu kuning menyalal haruslah segera menginjak rem, namun demikian kadang-kadang ada beberapa pengendara yang malah mempercepat jalannya kendaraaan agar masih dapat melewati pertemuan jalan tersebut. Keadaan ini menyebabkan jumlah kendaraan yang lewat akan bertambah dan akhirnya berhenti total juga. Dalam gambar ditunjukkan oleh garis lengkung cembung. Mengingat adanya *clearence loss* dan *starting loss*, maka tidak semua periode nyala lampu G dapat dimanaatkan secara penuh sehingga ada waktu efektif dan waktu hilang (*loss time* = L) bagi nyala lampu G.
Waktu besarnya bervariasi tergantung waktu siklusnya.
Contoh :

Waktu siklus (detik)	:	50	100	200
Loss time (%)	:	20	10	5

d. Phase lampu lalulintas di pertemuan jalan
Phase adalah suatu periode dimana suatu kelompok (atau beberapa kelompok) kendaraan diberi prioritas bersama-sama. Mengingat pada setiap phase akan terjadi waktu hilang, maka sebaiknya jumlah phase dalam suatu pertemuan jalan berlampu lalulintas diusahakan sedikit mungkin.

e. Diagram waktu.
Suatu pertemuan jalan bercabang 4 dan ditetapkan jumlah phase = 4, maka jika :

- volume lalu lintas tiap cabang:	v1	v2	v3	v4
- *saturation flow* tiap cabang :	s1	s2	s3	s4
- tingkat jenuh tiap cabang :	p1	p2	p3	p4

Jumlah pi seluruhnya adalah p = p1 + p2 + p3 + p4
Nilai p menunjukkan tingkat kejenuhan pertemuan jalan berlampu lalulintas.
Apabila :
p>1 : Berarti *over saturated*, dan keadaan ini tidak diijinkan.
P=1 : Keadaan ini juga tidak diijinkan karena belum mempertimbangkan adanya waktu hilang.
P<1 : Keadaan yang demikian yang harus selalu diusahakan.
Apabila :
Waktu hilang per siklus = L
Waktu siklus = C
Tingkat kejenuhan = p

Maka : $p \leq \frac{C-L}{C}$

$$C_{min} \geq \frac{L}{1-p}$$

Dalam praktek diambil :

$C_{opt} = \frac{2L}{1-p}$; untuk tingkat kejenuhan rendah p≤0,45

$C_{opt} = \frac{1{,}5L+5}{1-p}$; untuk tingkat kejenuhan rendah p≥0,45

DAFTAR PUSTAKA

Bina Marga, Dit.Jen., 1997, *Standarisasi Pengaspalan dengan Butas*, Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta.

Bindar,S.P., 1976, *A Course in Highway*, engineering, Dhampat Rai & Sons, Delhi.

Carter, Everett, C., Wolfgang S. Homburger, 1978, *Introduction to Transportation Engineering*, Reston Publishing Company, Virginia.

Doddy Setia Nigraha, 1987, *Batuan dan Mineral*, Nova, Bandung.

Krebs, R.D., Walker, R.D., 1071, *Highway Materials*, Mc. Graw Hill Book Company, New York.

Sudarsono, Ir.D.U., 1974, *Cara Menentukan Prosentase Aspal pada Konstruksi Pengaspalan*, Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta.

The Asphalt Institute, 1965, *Asphalt Paving Manual*, USA.

Yoder, Ej., Witczak, M.W., 1975, *Principles of Pavement Design*, John Willey & Sons, Inc., New York.

Pell, P.S., 1978, *Development in Highway Pavement Engineering 1*, Applied Science Publisher Ltd, Essex.

O'Flaherty, 1983, *Highway Engineering, Vol 1 and Vol 2, 2nd.*, Butler & Tanner Ltd, London.

Oglesby,C.H., Hicks, R.G., 1982, *Highway Engineering 4ed.*, John Willey & Sons, New York.

Robert, F.L.; Khandal P.S.; Dah-Juen Lee, Kennedy T.W, 1991, *Hot Mix Asphalt, Materials, Mixture, Design and Construction*, NAPA Education, Maryland.

British Standard Institutions, 1973, *Spesification for Rolled Asphalt (hot process) for Roads and Other Paved Areas*, BS.594

British Standard Institutions, 1985, *Hot Rolled Asphalt for Roads and Other Paved Areas*,. BS.594.

Ditjen Bina Marga, 1988, *Aspal Campuran Panas dengan Durabilitas Tinggi,* CQC & MU- Reference Document RD.6.3.7. Central Quality Control & Monitoring Unit.

Asphalt Institute, 1966, *Superpave Mix Design*, Superpave Series No.2(SP2).

Jay Hamsley; Al.Palmer, 1998, Asphalt Institute summer/spring 1998, Vol.12 No. 2

Asphalt Institute, 1996, *Superpave Mix Design*, Superpave Series No.2(SP2).

_____, 1987, *Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Buton untuk Jalan Raya*, SKBI.2.4.26.1987.

Asphalt Institute, 1989, *The Asphalt Handbook*, Manual Series no.4 (MS-4)

Csanyi,L.H., 1962, *Function of Filler in Butuminous Mixes*, HRB Bulletin 329.pp.1-37.

FT UGM, 1998, *Pembuatan Aspal Buton Epure untuk High Performance Road*, Laporan Penelitian Kerjasama dengan PT. Bina Sarana Eka Karma.

Hardjono, Sayono, dan Bardi Murachman, 1991, *Perbaikan Kualitas Ekstraksi Bitumen Asbuton*, Laporan Penelitian.

Hatherly, L.W.; Leaver, P.C., 1967, *Asphalt Road Materials*, Edward Arnold, Ltd, London.

O'Flaherty, C.A., 1983, *Highway, Vol.2.* Highway Engineering, Edward Arnold, Ltd, london

Suprapto Tm, 1985, *Aliran Lalulintas sepanjang periode nyala hijau lampu lalulintas,* Forum Teknik, Jilid 5, 1985.

Suprapto Tm, 1986. *Waktu Hilang pada lampu Lalulintas*, Pekerjaan Umum, No. 8. Th XX, Juli 1986.

Suprapto Tm, 1989, *Kekakuan Aspal sebagai bahan Jalan*, Media Teknik, No.2, Th XXI, April-Juli 1989.

Suprapto Tm, 1990, *Kekakuan Elastic Beton Aspal sebagai Bahan Lapis Keras Lentur Jalan,* Teknik Jalan Transportasi, No.075, Juli 1990, Th VIII.

Suprapto Tm, 1998, *Pengaruh Air terhadap Hasil Pengujian Agregat Bahan Perkerasan Jalan*, Media Teknik, No.2, Th XIII, Desember 1991.

Suprapto Tm, 1998, *Pengaruh Berat Jenis Filter Pengganti terhadap Sifat Beton Aspal,* Forum Teknik, Jilid 22, No 3, November 1998.

Suprapto Tm, 1998, *Model Rancangan Campuran Agregat Aspal untuk Uji Marshall,* Media Teknik No 4, Th XX, November 1998.

Suprapto Tm dan Budi Murachman, 1998, *Kualitas Beton Epure*, Forum Teknik, Jilid 22, No 3, Nopember 1998

Suprapto Tm, 1987, *Jalan Interblok.*

Suprapto Tm, 1999, *Beton Aspal dengan Bahan Pengisi Lekat Asbuton,* Forum Teknik Jilid 23, No 1, Maret 1999

Suprapto Tm, 1999, *Model Campuran Beton Aspal dengan Bahan Ikat Beton Epure.* Media Teknik, No.2 Th XXI, Mei 1999

Suprapto Tm,, 1999, *Pengaruh Gradasi Agregat terhadap Kualitas Beton Aspal Epure*, Forum Teknik, Jilid 25, No.3. November 1999.

Suprapto Tm, 2000, *Parameter Model Analisis Kerapatan dan Rongga Campuran Agregat Aspal,* Mediagama Vol.2, No 1, Januari 2000

Suprapto Tm, 1999, *Rancangan Campuran Kerja Model Superpave* (studi kasus : SMA 0/11 dengan bahan pengisi ekstrak asbuton), Simposium II FSTPT, Graha 10 Nopember ITS, 2 Desember 1999

Edited by Foxit PDF Editor
Copyright (c) by Foxit Software Company, 2004 - 2007
For Evaluation Only.