

BAB III LANDASAN TEORI

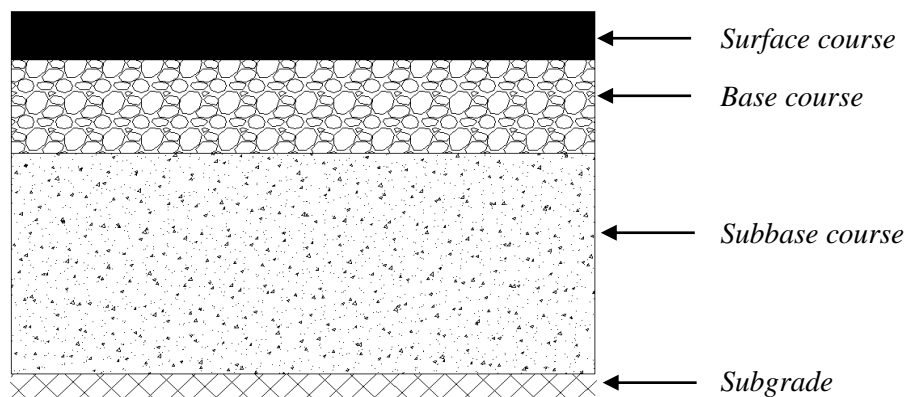
3.1 Perkerasan Lentur

Perkerasan jalan dapat didefinisikan sebagai campuran yang terdiri dari agregat yang terdiri dari batu pecah, batu kali, batu belah ataupun bahan lainnya dan bahan pengikat yang dapat berupa aspal, tanah liat ataupun semen dimana terletak di atas tanah dasar (*subgrade*), bertujuan untuk melayani beban lalu lintas.

Dalam mendesain perkerasan hal utama yang perlu diketahui adalah berapa banyak volume dan jenis kendaraan yang akan melewati perkerasan nantinya.

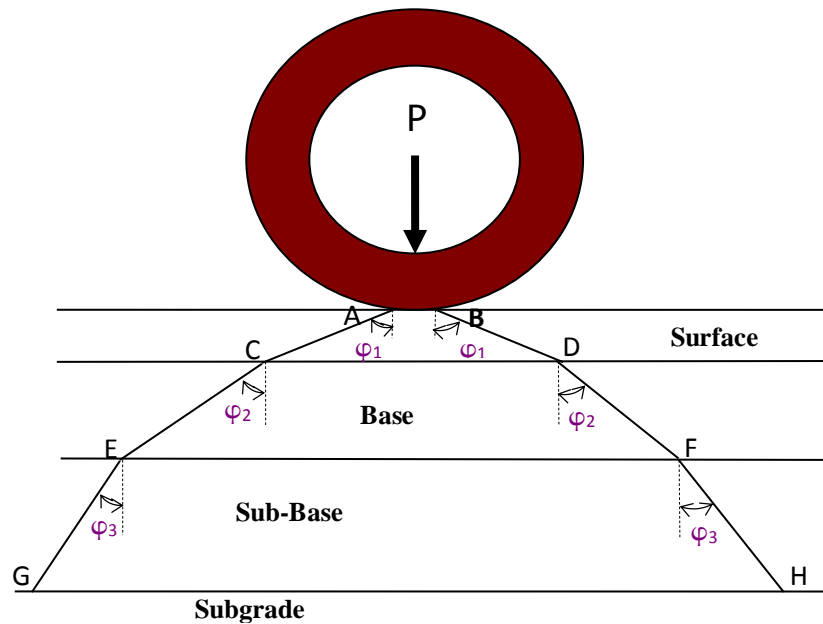
Secara umum lapis perkerasan berfungsi sebagai :

1. menahan beban roda kendaran,
2. sebagai lapis kedap air agar tidak masuk ke tanah dasar yang dapat melemahkan daya dukung,
3. lapis aus yang akan memberikan *skid resistant* terhadap roda kendaraan, dan
4. penyebar beban ke lapisan di bawahnya.



Gambar 3.1 Lapis perkerasan

lapisan perkerasan pada umumnya terdiri atas beberapa jenis lapisan yang tersusun dari bawah ke atas yang terdiri dari *subgrade*, *subbase course*, *base course* dan *surface course*.



Gambar 3.2 Penyaluran beban pada lapis perkerasan
(Source : Modul Baper 1-2015)

3.2.1 Lapis Perkerasan Lentur

Fungsi dari perkerasan lentur (*Flexible pavement*) adalah memberikan ruang bagi penyaluran beban sebelum mencapai tanah dasar, lapis perkerasan lentur sendiri secara umum terdiri dari lapis tanah dasar, lapis pondasi bawah, lapis pondasi atas dan lapis permukaan.

3.2.2 Lapis tanah dasar (*subgrade*)

Lapisan tanah dasar adalah lapisan yang berfungsi sebagai dudukan/perletakan lapis perkerasan dan mendukung konstruksi jalan di atasnya, *subgrade* dapat berupa tanah asli ataupun tanah urugan yang berasal dari tempat lain atau tanah yang telah distabilisasi.

Tanah dasar sangat berpengaruh terhadap keawetan dan kekuatan konstruksi di atasnya, persyaratan tanah dasar didasarkan pada nilai CBR (*California Bearing Ratio*), umumnya tanah dasar memiliki permasalahan sebagai berikut :

1. sifat kembang susut tanah akibat perubahan kadar air,
2. perubahan bentuk (Deformasi) akibat beban lalu lintas, dan
3. daya dukung tanah yang tidak merata akibat adanya perbedaan dari sifat-sifat tanah antar satu titik dengan titik lainnya.

3.2.3 Lapis Pondasi Bawah (*Subbase Course*)

Lapisan ini terletak diantara tanah dasar (*Sub Grade*) dan lapis pondasi atas (*Base Course*), lapisan ini berperan penting dalam meneruskan penyaluran beban yang diterima oleh lapis pondasi atas ke tanah dasar.

Biasanya untuk menghemat biaya konstruksi maka material yang digunakan pada lapis pondasi bawah lebih murah dibanding material pada lapisan di atasnya.

Fungsi lainnya dari lapis pondasi bawah antara lain :

1. bagian dari konstruksi jalan yang meneruskan serta menyebarkan beban roda yang diterima oleh lapis di atasnya,
2. sebagai salah satu cara dalam mencapai biaya konstruksi yang rendah dikarenakan penggunaan material yang murah sehingga mengurangi ketebalan lapis atasnya, dan
3. sebagai pemisah antara tanah dasar agar tidak masuk ke lapis pondasi atas.

3.2.4 Lapis pondasi atas (*Base Course*)

Lapis pondasi atas berada di atas lapis pondasi bawah, lapisan ini berfungsi sebagai penahan gaya lintang yang diakibatkan oleh roda kendaraan sehingga material yang digunakan haruslah material yang berkualitas tinggi sehingga diharapkan mampu menahan beban yang direncanakan, selain itu lapisan ini juga berfungsi sebagai bantalan bagi lapis permukaan.

3.2.5 Lapis Permukaan (*Surface Course*)

Lapisan yang langsung bersentuhan dengan roda kendaraan yang dilayani, oleh karena itu lapisan ini harus mempunyai stabilitas yang tinggi, lapisan ini juga merupakan lapis kedap air dimana berfungsi mencegah air agar tidak masuk kelapis bawahnya (air mengalir ke samping menuju drainase jalan) sehingga penurunan daya dukung dapat dicegah.

Fungsi lain dari lapis permukaan antara lain :

1. sebagai lapis aus agar memberikan kekuatan cengkram bagi roda kendaraan, dan
2. penerus beban kelapis bawahnya.

3.2 Superpave Asphalt

Menurut *SHRP* (*Strategic highway research program*) *Superpave* adalah metode komprehensif untuk desain campuran perkerasan yang disesuaikan dengan persyaratan kinerja yang ditentukan oleh kondisi lalu lintas, lingkungan, dan bagian structural pada lokasi perkerasan tertentu, hal ini dilakukan dengan cara pemilihan dan mencampur aspal pengikat, agregat dan beberapa bahan penambah untuk mencapai syarat dari *pavement performances*.

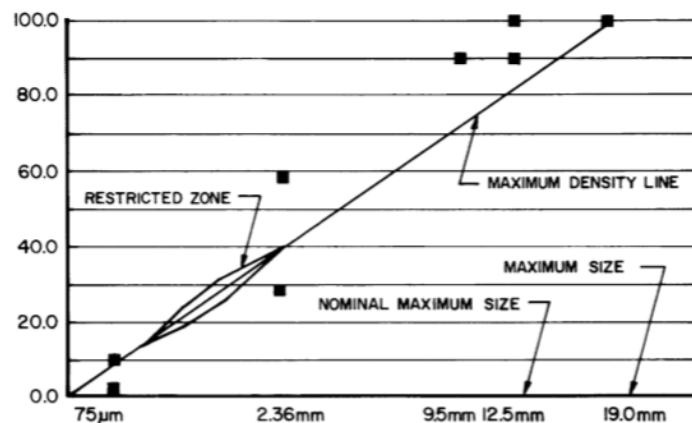
Pengujian pada *superpave* pavement sama halnya dengan pengujian pada jenis perkerasan *SMA*, agregat yang maksimum yang boleh dipakai pada *Surface course* adalah 9.5-12.5 mm (Table 3.1), agregat kasar adalah yang tertahan pada ukuran saringan 2.36 mm (saringan #8), agregat halus adalah yang lolos ukuran saringan 2.36 mm dan *filler* adalah yang lolos ukuran 75 mikron meter (#200).

Tabel 3.1 Ukuran Agregat Maksimum yang Disarankan

<i>Pavement Layer</i>	<i>Nominal Maximum Aggregate Size</i>
<i>Surface</i>	9.5-12.5 mm
<i>Binder</i>	25-37.5 mm
<i>Base</i>	25-37.5 mm

sumber : *Strategic highway research program* (1994)

Dalam perencanaan campuran perkerasan dengan gradasi *superpave* maka diperlukan persyaratan khusus yang telah ditetapkan oleh *SHRP* dimana terdapat zona larangan, zona terlarang didefinisikan sebagai daerah yang tidak boleh dilalui oleh susunan butiran atau gradasi pada prosentase 15 – 39 % dan ukuran saringan 1.15mm – 2,36 mm. yang dapat dilihat pada gambar 3.3 berikut :



Gambar 3.3 Zona larangan pada gradasi *superpave*

Zona larangan pada gradasi menerus *Superpave* (SHRP, 1994) yang selanjutnya diadopsi Dirjen Bina Marga (EIRTP-I, 2003), secara ringkas maka persentase tertahan dari gradasi *superpave* dapat dilihat pada Tabel 3.2 beserta zona batas zona larangannya

Tabel 3.2 Batas Gradasi Campuran Agregat dengan Ukuran Maksimum 19 mm

Ukuran Saringan			Spesifikasi		Zona Larangan	
			Min	Max	Min	Max
3/4"	19	mm	100	100		
1/2"	12.5	mm	90	100		
3/8"	9.5	mm	78	90		
No. 8	2.36	mm	28	58	39.1	39.1
No. 16	1.18	mm	14.57	33.21	25.6	31.6
No. 30	0.6	mm	7.97	25	19.1	23.1
No. 50	0.3	mm	4.56	17	15.5	15.5
No. 200	0.075	mm	2	10		
Pan			0	0		

Sumber : SHRP A-407 1994

3.3 Agregat

Agregat dapat didefinisikan sebagai material granular seperti kerikil, batu belah dan batu pecah yang dipakai bersama dengan bahan pengikat untuk membentuk suatu campuran perkerasan. Sedangkan menurut *ASTM* agregat sebagai suatu bahan yang terdiri dari mineral padat, berupa masa berukuran besar ataupun berupa fragmen-fragmen.

Menurut Silvia (2003) agregat merupakan komponen penyusun perkerasan dengan berat 90-95% total berat perkerasan atau 75-85% volume total perkerasan, sehingga peran agregat dalam menciptakan perkerasan yang ditargetkan sangat berpengaruh.

Agregat harus memiliki sifat dan kualitas yang baik dalam menahan beban lalu lintas yang akan melaluinya, secara umum sifat agregat dapat dikelompokkan menjadi:

1. kekuatan serta keawetan; dipengaruhi oleh tekstur permukaan, gradasi, ukuran butir, kadar lempung serta kekerasan dan ketahanan,

2. kemampuan diselimuti oleh aspal; factor yang mempengaruhi kemampuan agregat diselimuti oleh aspal adalah porositas, kemampuan penyerapan agregat serta jenis agregat, dan
3. *workability*; kemudahan dalam pengerjaan sangat dipengaruhi oleh komposisi dari campuran agregat yang dipakai, semakin baik komposisi yang dipakai maka semakin mudah pengerjaannya dan sebaliknya.

Dalam perencanaan campuran perkerasan hal terpenting yang perlu diperhatikan adalah gradasi agregat yang digunakan, gradasi agregat sendiri adalah distribusi dari variasi ukuran agregat yang mana gradasi ini sangat berpengaruh terhadap besarnya rongga dalam campuran, stabilitas dan *workability* dari campuran, gradasi agregat dapat dibedakan menjadi 3 jenis, antara lain :

1. Gradasi seragam

Gradasi seragam memiliki ukuran butir agregat yang hamper sama, sehingga menciptakan rongga antar agregat yang besar akibat sedikitnya agregat halus, agregat jenis ini disebut juga sebagai gradasi terbuka (*open graded*).

2. Gradasi rapat

Gradasi yang paling baik diantara gradasi lainnya dimana hadirnya agregat kasar hingga agregat halus dengan jumlah yang sesuai, gradasi jenis ini disebut juga sebagai gradasi baik (*well graded*), campuran perkerasan dengan menggunakan gradasi ini memiliki stabilitas yang tinggi, kedap air serta memiliki berat isi yang besar.

3. Gradasi senjang

Gradasi senjang memiliki jumlah agregat kasar dan halus yang tidak seimbang ukurannya atau dengan kata lain terdapat agregat yang tidak lengkap pada nomor saringan tertentu sehingga menimbulkan ketimpangan ukuran.

Agregat dalam perkerasan lentur dibagi menjadi 2 berdasarkan ukurannya antara lain agregat kasar dan agregat halus.

3.4.1 Agregat Kasar

Menurut SNI 1970-2008 agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri

pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 4,75 mm (No.4) sampai 40 mm (No. 1½ inci).

Berikut ketentuan agregat kasar menurut Binamarga (2010) tersaji dalam Tabel 3.3

Tabel 3.3 Ketentuan Agregat Kasae

Pengujian		Standar	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan	Natrium sulfat	SNI 3407 : 2008	Maks. 12%
	Magnesium sulfat		Maks. 18%
Abrasi dengan mesin <i>Los Angles</i>	Campuran AC Modifikasi	100 putaran	Maks. 6%
		500 putaran	Maks. 30%
	Semua jenis campuran aspal bergradasi lainnya	100 putaran	Maks. 8%
		500 putaran	Maks. 40%
Kelekatan agregat terhadap aspal		SNI 2439:2011	Maks. 95%
Butir pecah pada agregat kasar		SNI 7619:2012	95/90
Partikel pipih pada agregat kasar		ASTM D4179 Perbandingan 1:5	Maks. 10%
Material lolos ayakan No. 200		SNI 09-4142-1996	Maks 2%

Sumber : Binamarga (2010)

3.4.2 Agregat Halus

Agregat halus adalah material yang lolos saringan No. 4 (4,75 mm) dan tertahan pada saringan No. 200 yang terdiri dari bahan-bahan yang bersudut tajam dan bersih dari kotoran atau bahan-bahan yang tidak dikehendaki, agregat halus memegang peranan penting dalam daya tahan terhadap deformasi namun akan menurunkan daya tahan campuran apabila melebihi proporsi yang disyaratkan.

Berikut ketentuan agregat halus menurut Binamarga (2010) tersaji dalam Tabel 3.4

Tabel 3.4 Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Standar	Nilai
Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 60%
Angularitas dengan uji kadar rongga	SNI 03-6877-2002	Min. 45%
Gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat	SNI 03-4141-1996	Maks. 1%
Agregat lolos ayakan No. 200	SNI ASTM C11 : 2012	Maks. 10%

Sumber : Binamarga (2010)

3.4.3 Filler

Filler merupakan bahan berbutir halus yang berfungsi sebagai pengisi rongga di antara butiran agregat kasar dengan tujuan mengurangi rongga, meningkatkan stabilitas dan meningkatkan kerapatan.

Filler sendiri didefinisikan sebagai agregat yang lolos saringan no.200 (0,075 mm) baik berupa debu mineral, debu batu kapur atau semen.

3.4 Aspal

Aspal adalah material yang pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat, dan bersifat termoplastis. Jadi, aspal akan mencair jika dipanaskan sampai temperatur tertentu, dan kembali membeku jika temperatur turun. Bersama dengan agregat, aspal merupakan material pembentuk campuran perkerasan jalan. (Sukirman, 2003).

Aspal merupakan material utama yang berfungsi sebagai pengikat agregat dikarenakan daya ikat yang kuat, mempunyai sifat adhesif, kedap air yang mudah dikerjakan (Silvia, 1990), aspal sendiri merupakan material yang tersusun atas senyawa *hydrocarbon* dan *oil*.

Berdasarkan ketentuan Bina Marga 2010 terdapat syarat yang harus dipenuhi seperti yang terlihat pada Tabel 3.5

Tabel 3.5 Ketentuan Aspal Padat

Daftar Pengujian	Peraturan	Nilai
Pengujian penetrasi (dmm)	SNI 06-2456-1991	60-70
Pengujian berat jenis aspal	SNI 06-2441-1991	≥ 1.0
Pengujian daktalitas (cm)	SNI 06-2432-1991	≥ 100
Pengujian titik lembek ($^{\circ}\text{C}$)	SNI 06-2434-1991	≥ 48
Pengujian titik nyala ($^{\circ}\text{C}$)	SNI 06-2433-1991	≥ 232
Pengujian kelarutan dalam TCE (%)	ASTM D5546	≥ 99

Sumber : Binamarga (2010)

3.5 Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)

Metoda daur ulang adalah salah satu cara saat ini dalam mengatasi atau meningkatkan struktur perkerasan jalan beraspal, dengan penggunaan bahan daur

ulang maka akan menghemat penggunaan aspal dan agregat, serta tidak merusak geometri jalan akibat penambahan *layer* secara terus menerus setiap ada perbaikan jalan.

Namun demikian aspal daur ulang adalah material yang berasal dari perkerasan lama, artinya perkerasan ini telah mengalami penuaan akibat umur layanan yang diberikannya, hal ini dikarenakan reologi aspal telah teroksidasi dan mempunyai kelelahan, sehingga aspal pada *RAP* mengeras (O'Sullivan 2011), oleh karena itu untuk mengembalikan sifat dari aspal lama diperlukan bahan peremaja (*Rejuvenator*), namun demikian penggunaan *RAP* tetap harus dibatasi sebagai tambahan material, beberapa negara di Eropa telah membatasi penggunaan *RAP* sebagai material tambah, menurut *AI (Asphalt Institute)* proporsi penggunaan *RAP* dalam campuran beraspal panas adalah sekitar 10%-35%.

3.6 Bahan Peremaja (*Rejuvenator*)

Rejuvenator merupakan suatu peremaja bahan pengikat untuk *RAP*, di mana didalamnya terkandung dan tersusun senyawa aromatik ringan, untuk menggantikan senyawa aromatik ringan yang menguap atau teroksidasi pada *RAP*. (Qiu dkk. 2013).

Bahan peremaja merupakan bahan *additive* dengan viskositas rendah yang dirancang dapat menggantikan sifat atau karakteristik yang hilang dari material *RAP*, berbagai macam bahan peremaja anatar lain, oli bekas, minyak goreng, aspal pen 160/220 dan lainnya.

Pada penelitian ini digunakan bahan peremaja berupa minyak goreng bekas, minyak goreng bekas dapat didefinisikan sebagai minyak limbah yang bisa berasal dari jenis-jenis minyak goreng minyak ini merupakan minyak bekas pemakaian kebutuhan rumah tangga umumnya, bila ditinjau dari komposisi kimianya, minyak bekas pakai mengandung senyawa-senyawa yang bersifat karsinogenik, yang terjadi selama proses penggorengan.

Pemakaian minyak bekas pakai yang berkelanjutan dapat merusak kesehatan manusia, menimbulkan penyakit kanker. Untuk itu perlu penanganan

yang tepat agar limbah minyak bekas pakai ini dapat bermanfaat dan tidak menimbulkan kerugian dari aspek kesehatan manusia dan lingkungan.

Kandungan senyawa yang terdapat dalam minyak goreng bekas dapat dilihat pada Tabel 3.6

Tabel 3.6 Senyawa Kimia pada Minyak Goreng Bekas

Jenis Asam Lemak	Nama	Rumus	Titik Lebur (°C)
Asam Lemak Jenuh	Asam Butirat	C_3H_7COOH	-7,9
	Asam Kaporat	$C_5H_{11}COOH$	-1,5 sampai -2,0
	Asam Palmitat	$C_{15}H_{31}COOH$	64
	Asam Stearat	$C_{17}H_{35}COOH$	69,4
Asam Lemak Tak Jenuh	Asam Oleat	$C_{17}H_{33}COOH$	14
	Asam Linoleat	$C_{17}H_{31}COOH$	-11
	Asam Linolenat	$C_{17}H_{29}COOH$	Cair pada suhu sangat rendah

Sumber: Poedjiadi (2009)

3.7 Kinerja Campuran Beraspal

Dalam mencapai kinerja perkerasan yang optimal maka diperlukan adanya parameter yang dipakai sebagai acuan untuk menyatakan seberapa baik kinerja campuran yang dibuat, kinerja campuran harus ditinjau dari berbagai aspek yang dapat dilihat dari kekesatan, kelenturan, kemudahan dalam pelaksanaan, ketahanan kelelahan, stabilitas, *impermeability* dan keawetannya.

3.8.1 Tahanan Geser (*Skid Resistant*)

Tahanan geser adalah kemampuan perkerasan dalam memberikan kekesatan terhadap roda kendaraan sehingga menghindari terjadinya slip baik di waktu hujan maupun kering, kekesatan dinyatakan dengan koefisien geser permukaan jalan dan ban kendaraan.

3.8.2 Kelenturan (*Flexibility*)

Fleksibilitas atau kelenturan adalah kemampuan lapisan perkerasan dalam menerima beban lalu lintas tanpa terjadinya retak maupun perubahan volume dari

perkerasan, sehingga untuk mencapai fleksibilitas yang baik perkerasan harus mampu berdeformasi mengikuti beban kendaraan yang melaluinya.

3.8.3 *Workability*

Kemudahan pekerjaan (*workability*) dimaksudkan agar perkerasan dapat dihampar dan dipadatkan dengan mudah agar memenuhi kepadatan dan tebal yang sesuai dengan rencana perkerasan.

3.8.4 Ketahanan Kelelahan (*Fatigue Resistance*)

Ketahanan kelelahan adalah ketahanan dari lapis aspal beton dalam menerima beban berulang tanpa terjadinya kelelahan yang berupa alur (*ruting*) dan retak.

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

3.8.5 Stabilitas

Stabilitas lapisan pekerjaan jalan adalah kemampuan lapisan perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur ataupun bleeding. Kebutuhan akan stabilitas setingkat dengan jumlah lalu lintas dan beban kendaraan yang akan memakai jalan tersebut.

Stabilitas terjadi dari hasil geseran antar butir, penguncian antar partikel dan daya ikat yang baik dari lapisan aspal. Dengan demikian stabilitas yang tinggi dapat diperoleh dengan mengusahakan penggunaan :

1. agregat dengan gradasi yang rapat (*dense graded*),
2. agregat dengan permukaan yang kasar,
3. agregat berbentuk kubus,
4. aspal dengan penetrasi rendah, dan
5. aspal dengan jumlah yang mencukupi untuk ikatan antar butir.

Pengujian dilakukan dengan menempatkan benda uji pada alat *Marshall*, kemudian diberikan beban dengan kecepatan 2 inci/menit atau 51 mm/menit. Perhitungan nilai stabilitas dapat dilihat pada Persamaan 3.1.

$$q = p \times q \quad (3.1)$$

dengan

q = nilai stabilitas,

p = pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi *proving ring*, dan

q = angka koreksi benda uji.

3.8.6 Impermeability

Kedap air adalah kemampuan perkerasan untuk tidak dapat dimasuki air dan udara. Air dan udara dapat mengakibatkan percepatan proses penuaan aspal dan pengelupasan aspal dari permukaan agregat.

Perhitungan koefisien permeabilitas dapat dilihat pada Persamaan 3.2

$$k = \frac{v \times L \times \gamma_{air}}{p \times A \times T} \quad (3.2)$$

dengan

k = koefisien permeabilitas (cm/detik),

γ_{air} = berat jenis air (kg/cm³),

P = tekanan air pengujian (kg/cm²),

A = luas penampang benda uji (cm²), dan

T = lama waktu perembesan (detik).

Berikut adalah klasifikasi aspal berdasarkan nilai permeabilitas dapat dilihat pada Tabel 3.7.

Tabel 3.7 Klasifikasi Campuran Aspal Berdasarkan Nilai Permeabilitas

No.	K (cm/detik)	Permeability
1	1 x 10 ⁻⁸	<i>Impervious</i>
2	1 x 10 ⁻⁶	<i>Practically Impervious</i>
3	1 x 10 ⁻⁴	<i>Poor Drainage</i>
4	100 x 10 ⁻⁴	<i>Fair Drainage</i>
5	1000 x 10 ⁻⁴	<i>Good Drainage</i>

Sumber: Suparma (1997) dalam Chairussyah (2001)

3.8.7 Durability

Keawetan adalah kemampuan perkerasan jalan untuk mencegah terjadinya perubahan pada aspal, kehancuran agregat, dan mengelupasnya selaput aspal pada batuan agregat akibat cuaca, air, suhu udara dan keausan akibat gesekan dengan roda kendaraan.

Faktor yang mempengaruhi durabilitas lapis aspal beton adalah:

1. *Voids In The Mix (VIM)* kecil sehingga lapis kedap air dan udara tidak masuk ke dalam campuran yang menyebabkan terjadinya oksidasi dan aspal menjadi rapuh (getas).
2. *Void In Mineral Aggregate (VMA)* besar sehingga film aspal dapat dibuat tebal. Jika *VMA* dan *VIM* kecil serta kadar aspal tinggi maka kemungkinan terjadinya bleeding cukup besar.
3. selimut aspal, selimut aspal yang tebal dapat menghasilkan lapis aspal beton yang durabilitas tinggi tapi rentan menyebabkan bleeding.

Durabilitas dapat diperoleh dengan melakukan proses perendaman pada aspal. Proses perendaman dilakukan untuk mengetahui pengaruh air terhadap campuran perkerasan aspal.

Nilai indeks stabilitas sisa (*IRS*) dapat dihitung dengan Persamaan 3.3.

$$IRS = \frac{MSi}{MSs} \times 100 \quad (3.3)$$

dengan:

IRS = indeks stabilitas sisa (%),

Msi = stabilitas *Marshall* perendaman (24, 48 jam) (Kg), dan

MSs = stabilitas *Marshall* standar (1/2 jam) (Kg).

3.8.8 Indirect Tensile Strength

Menurut Hakim (2004) pengujian *ITS* dilakukan dengan cara memberikan beban tunggal pada benda uji berbentuk silinder hingga titik batas kerusakan hingga diidentifikasi dengan terjadinya retak di arah vertical benda uji.

Perhitungan nilai *ITS* dapat dilihat pada Persamaan 3.4.

$$ITS = \frac{2P_{maks}}{\rho \times t \times d} \quad (3.4)$$

dengan

ITS = *indirect Tensile Strength* (N/mm²),

P_{maks} = pembebanan maksimum (N),

t = tinggi rata-rata benda uji (mm), dan

d = diameter benda uji (mm).

3.8.9 Uji *Cantabro*

Pengujian *cantabro* merupakan pengujian untuk mengetahui berat sampel yang hilang setelah dilakukan test abrasi menggunakan alat mesin Los Angeles. Benda uji dipadatkan kedua sisinya sebanyak 2x75 tumbukan. Benda uji, selanjutnya sampel diletakkan dalam drum *Los Angeles* tanpa bola dan diputar sebanyak 300 putaran.

Nilai *Cantabro* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.5.

$$CALi = \frac{(mi_1 - mi_2)}{mi_1} \times 100 \quad (3.5)$$

dengan

$CALi$ = *cantabro Abrasion Loss* (%),

Mi_1 = berat mula-mula benda uji (*specimen*) (gr), dan

Mi_2 = berat benda uji (*specimen*) setelah pengujian (gr).