

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Konstruksi Perkerasan

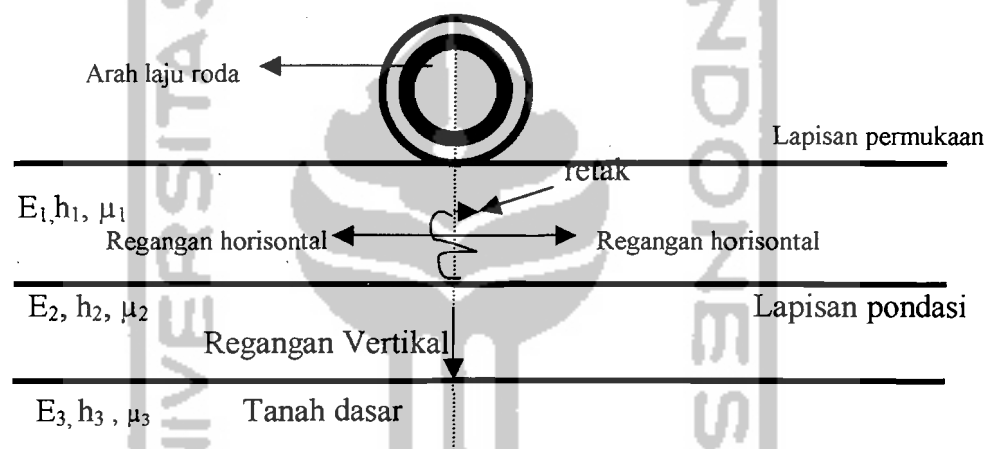
Perkerasan jalan adalah struktur jalan yang dibuat keras yang berfungsi untuk mendukung beban lalu lintas secara aman dan nyaman, selanjutnya beban tersebut diteruskan atau disebarkan kelapis tanah dasar (*subgrade*) sehingga tanah dasar tidak menanggung beban seluruhnya dan beban tidak melampaui daya dukung tanah dasar. Perkerasan dikelompokkan dalam tiga jenis, yaitu seperti dibawah ini.

1. Perkerasan lentur (*fleksible pavement*), perkerasan yang menggunakan bahan ikat aspal.
2. Perkerasan tegar/kaku (*rigid pavement*), perkerasan dengan menggunakan bahan ikat semen.
3. Perkerasan komposit (*composit pavement*), perkerasan menggunakan bahan ikat kombinasi antara aspal dengan semen.

Sampai saat ini perkerasan lentur sering digunakan karena lebih menguntungkan disbanding dengan jenis perkerasan yang lain. Fungsi penting dari lapisan keras secara struktural adalah untuk mendukung beban lalu lintas, kemudian menyalurkan pada tanah dasar secara merata. Fungsi non struktural dari perkerasan lentur antara lain adalah memberikan suatu permukaan yang rata, menahan gaya geser dan beban roda, sebagai lapis aus, dan sebagai lapis kedap air untuk melindungi lapis dibawahnya.

Dalam setiap lapisan sistem perkerasan memiliki nilai modulus elastisitas (E) dan angka *poisson* (μ) yang berbeda, selain sifat fisik lapisan seperti ketebalan

lapisan. Akibat penyebaran tegangan beban lalu lintas akan terjadi regangan tarik horizontal pada lapisan beraspal dan regangan tekan pada lapisan permukaan tanah dasar. Jika beban yang bekerja terlalu besar dan berulang-ulang maka akan terjadi akumulasi regangan sehingga menyebabkan retak-retak pada lapisan beraspal sampai ke permukaan dan terjadi deformasi permanen pada tanah dasar, sehingga mengakibatkan deformasi secara keseluruhan pada sistem perkerasan. Secara grafis dapat dilihat pada Gambar 3.1. berikut.



Gambar 3.1 Pemodelan Sistem Perkerasan

Sumber : Hunter,N, 1994

Dengan melihat sistem perkerasan ini maka dapat dikatakan input dalam pemodelan ini menggunakan metode analitis antara lain:

1. besar tegangan kontak antara roda dan permukaan jalan,
2. modulus elastisitas bahan pembentuk lapisan perkerasan yaitu modulus elastisitas lapisan beraspal dan modulus elastisitas lapisan lekas dan tanah dasar,

3. nilai *poisson* dari bahan-bahan pembentuk lapisan perkerasan, dan
4. selain itu juga tebal masing-masing lapisan pembentuk sistem perkerasan.

1.2 Perkerasan Lentur Jalan

Perkerasan lentur jalan (*fleksible pavement*) adalah suatu lapis perkerasan menggunakan aspal sebagai bahan ikat yang digelar di atas tanah dan mengalami pemadatan serta mempunyai fungsi untuk mendukung beban lalu lintas yang kemudian diteruskan ke tanah dasar di bawahnya, sehingga tanah dasar mampu memikul beban yang lebih besar dari daya dukungnya.

Menurut *Asphalt Technology and Construction Practice (The Asphalt Institute MS-22, 1983)*, konstruksi perkerasan lentur umumnya terbagi atas beberapa lapis sebagai berikut ini.

1. lapis permukaan (*surface course*),
2. lapis pondasi atas (*base course*),
3. lapis pondasi bawah (*sub-base course*), dan
4. lapis tanah dasar (*subgrade*).

Masing-masing lapisan mempunyai fungsi yang berbeda-beda. Fungsi dari masing-masing lapisan adalah sebagai berikut ini.

1. lapisan permukaan (*Surface Course*), berfungsi :
 - a. memberikan suatu permukaan yang rata dan tidak licin,
 - b. mendukung dan menyebarkan beban vertikal maupun horisontal atau gaya geser dari beban kendaraan,
 - c. sebagai lapisan kedap air untuk melindungi lapis dibawahnya, dan
 - d. sebagai lapis aus.

2. lapis pondasi atas (*Base Course*), berfungsi :
 - a. lapis pendukung bagi lapis permukaan,
 - b. pemikul beban horisontal dan vertikal, dan
 - c. lapisan peresapan bagi lapis pondasi bawah.
3. lapis pondasi bawah (*Sub Base Course*), berfungsi :
 - a. menyebarkan beban roda,
 - b. sebagai lapis peresapan,
 - c. sebagai lapisan yang mencegah masuknya tanah dasar ke lapis pondasi, dan
 - d. sebagai lapisan pertama pada pembuatan struktur perkerasan.
4. tanah dasar (*Subgrade*), berfungsi :

tanah dasar merupakan tanah asli, permukaan tanah timbunan atau permukaan tanah galian yang dipadatkan yang berfungsi sebagai dasar untuk perletakan bagian-bagian perkerasan.

1.3 Bahan Perkerasan

1.3.1 Agregat

Agregat atau batuan adalah berupa bahan pecah, kerikil, pasir atau komposisi mineral lebih baik dari hasil alam (*natural aggregate*), hasil pengolahan (*manufactured aggregate*), maupun agregat buatan (*manufactured aggregate*) yang digunakan sebagai bahan penyusun utama perkerasan jalan.

Agregat merupakan komponen utama dari lapis perkerasan jalan yaitu mengandung 90% - 95% agregat berdasarkan presentase volume. Dengan demikian

daya dukung, keawetan, dan mutu perkerasan ditentukan juga dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan mineral (Sukirman, 1992).

Pemilihan jenis agregat yang sesuai untuk digunakan pada konstruksi perkerasan dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu ukuran dan gradasi, kekuatan, bentuk tekstur permukaan dan kelekatan terhadap aspal serta kebersihan dari sifat kimianya (Kerb and Walker, 1971).

British Standard Institution (1985) membagi komposisi agregat kasar, agregat halus, dan agregat campuran untuk *Hot Rolled Asphalt* seperti pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 berikut ini.

Tabel 3.1. Persyaratan Gradasi Agregat Kasar *Hot Rolled Asphalt*

Tebal lapisan (mm)	35
Kadar Agregat kasar (%)	15/30
Ukuran nominal batuan (mm)	10/14/20
Ukuran saringan (mm)	Lolos saringan (%)
50,0	-
37,5	-
28,0	-
20,0	100
14,0	85-100
10,0	0-100
6,3	0-60

Sumber : *British Standard Institution*, 1985

Tabel 3.2 Persyaratan Gradasi Agregat Campuran *Hot Rolled Asphalt*

Ukuran saringan	Persentase lolos saringan (%)	
	Spesifikasi	Nilai tengah
12,7mm (1/2")	100	100
9,52mm (3/8")	85-100	92,5
6,30mm (1/4")	60-90	75
2,38mm (# 8)	60-72	66
0,29mm (# 30)	25-45	35
0,212mm (# 70)	15-30	22,5
0,074mm (# 200)	8-12	10

Sumber : *British Standard Institution, 1985*

1.3.2 Bahan Pengisi (*Filler*)

Agregat pengisi adalah agregat atau batuan yang sebagian besar lolos saringan no.200 (0,074 mm) tertahan pan. Bahan pengisi ini akan mengisi rongga diantara partikel agregat guna mengurangi besarnya rongga, meningkatkan kepadatan dan kerapatan dari massa tersebut. *Filler* dapat berupa abu kapur, sement Portland dan abu batu. Pada penelitian ini digunakan abu batu sebagai *filler*.

1.3.3 Aspal

Aspal adalah suatu bahan ikat berbentuk padat atau semi padat berwarna hitam atau coklat tua yang tersusun dari *asphaltenese* dan *maltenese*. Adapun fungsi aspal adalah:

1. Sebagai bahan pengikat, memberikan ikatan yang kuat antara aspal dengan agregat dan aspal itu sendiri
2. Bahan pengisi, mengisi rongga antara butiran agregat dan pori-pori yang ada dari agregat itu sendiri.

Jika dipanaskan sampai temperatur tertentu aspal akan menjadi lunak dan cair sehingga dapat membungkus partikel agregat sewaktu pembuatan campuran. Jika temperatur mulai turun, aspal akan mengeras dan mengikat agregat pada tempatnya (Sukirman, 1999).

Aspal termasuk bahan termoplastik yaitu bahan yang viskositasnya akan berubah dengan berubahnya temperatur. Sifat termoplastik sangat menguntungkan dari sudut pelaksanaan konstruksi. Pada viskositas rendah akan dapat membasahi dan menyelimuti batuan yang dicampur sehingga permukaan batuan dapat terselimuti secara merata dan dengan ketebalan yang cukup. Untuk mendapatkan viskositas yang rendah dibutuhkan suhu yang tinggi dengan pemanasan. Pemanasan yang terlalu tinggi berakibat rusaknya sifat-sifat aspal sehingga aspal akan cepat mengeras. Pemanasan yang kurang akan berakibat aspal tidak menyelimuti batuan secara merata, sehingga ikatan antar batuan kurang kuat dan mengurangi kekuatan lapis keras jalan dalam mendukung beban. Persyaratan aspal keras jalan dapat dilihat pada Tabel 3.3 berikut ini.

Tabel 3.3 Persyaratan Beberapa Jenis Aspal

No.	Jenis Pemeriksaan	Pen. 40		Pen. 60		Pen. 80	
		Min	Maks	Min	Maks	Min	Maks
1.	Penetrasi 25° C, 100 gr. 5 dtk (0,1 mm)	40	59	60	79	80	99
2.	Titik Lembek (Ring and Ball) (° C)	51	63	48	58	46	54
3.	Titik Nyala (Cleveland Open Cup) (° C)	200	-	200	-	200	-

Lanjutan Tabel 3.3

No.	Jenis Pemeriksaan	Pen. 40		Pen. 60		Pen. 80	
		Min	Maks	Min	Maks	Min	Maks
4.	Daktilitas 25° C, 5 cm per menit (cm)	75	-	100	-	100	-
5.	Krlarutan CCL ₄ (%berat)	99	-	99	-	99	-
6.	Berat Jenis 25° C	1	-	1	-	1	-

Sumber : Bina Marga, 1987

1.4 Karakteristik Perkerasan

Karakteristik suatu perkerasan akan dinilai baik apabila memenuhi beberapa kriteria, antara lain sebagai berikut ini.

1.4.1 Stabilitas

Stabilitas lapisan perkerasan adalah kemampuan lapisan perkerasan untuk menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk, seperti gelombang, alur, ataupun *bleeding*. Stabilitas terjadi dari hasil gesekan antar butir, penguncian antar partikel dan daya ikat yang baik antar aspal.

1.4.2 Durabilitas

Durabilitas menunjukkan tingkat keawetan dan daya tahan lapisan. Untuk menahan keausan akibat pengaruh perubahan cuaca, air dan perubahan suhu atau keausan akibat gesekan kendaraan. Tebal film aspal, nilai *VITM* dan *VFWA* merupakan faktor yang mempengaruhi durabilitas suatu lapis keras campuran panas.

1.4.3 Fleksibilitas

Fleksibilitas adalah kemampuan lapisan menyesuaikan deformasi yang terjadi akibat beban lalu lintas yang diterima secara berulang tanpa menimbulkan retak (*cracking*) dan perubahan volume. Umumnya fleksibilitas campuran akan tinggi dengan menambahkan kadar aspal berdaktilitas tinggi, mengurangi tebal lapis keras dan menggunakan gradasi agregat yang relatif terbuka.

1.4.4 Workabilitas

Workabilitas adalah kemudahan suatu campuran untuk dihampar dan dipadatkan sehingga mencapai tingkat kepadatan yang diinginkan. Workabilitas dapat dicapai dengan meminimalkan volume rongga yang terdapat diantara butir-butir agregat dari suatu campuran, sehingga memberikan ruang yang cukup untuk aspal agar dapat melekat pada agregat. Dengan demikian campuran aspal dan agregat akan lebih mudah untuk dikerjakan dan dipadatkan. Hal ini berarti campuran dapat dimampatkan lebih banyak sehingga volume menjadi lebih kecil. Selain itu butiran agregat yang bersudut (*angular*) akan mempunyai bidang kontak yang lebih luas sehingga pada saat dipadatkan tidak mudah bergerak. Demikian juga dengan permukaan agregat yang kasar dapat memperkuat daya cengkeram antara aspal dan agregat sehingga tidak mudah bergeser saat dipadatkan. Kadar aspal yang cukup untuk menyelimuti agregat juga mempermudah pengerjaan pada saat penghampanan dan pemadatan.

1.4.5 *Fatigue Resistance*

Adalah ketahanan perkerasan terhadap kelelahan akibat beban yang berulang-ulang (*load repetitions*) dari beban lalu lintas tanpa mengalami retak. Nilai *fatigue resistance* dapat dinaikkan dengan cara mempertinggi kadar aspal, mempertebal lapisan permukaan dan memperkecil rongga terhadap campuran.

1.5 Karakteristik *Marshall*

1.5.1 Karakteristik *Marshall*

Pengujian *Marshall* adalah metode laboratorium untuk memeriksa kinerja kinerja campuran panas yang paling luas penggunaannya. Pada penelitian ini mengacu kepada persyaratan uji *Marshall* yang dikeluarkan oleh Bina Marga yang berlaku di Indonesia dengan jenis lalu lintas yang dipergunakan adalah lalu lintas berat. Spesifikasi ini dapat dilihat pada Tabel 3. 4 berikut ini.

Tabel 3.4. Persyaratan Nilai Spesifikasi *Marshall Properties*.

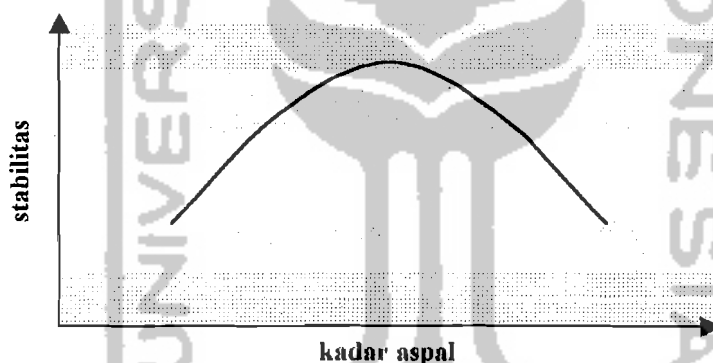
No	Spesifikasi Jenis Pemeriksaan	Bina Marga 1987		
		Kepadatan Lalu Lintas		
		Berat	Sedang	Ringan
1.	Jumlah tumbukan	2 x 75	2 x 50	2 x 35
2.	Stabilitas minimal (kg)	550	450	350
3.	Kelelahan (mm)	2-4	2-4,5	2-5
4.	VITM (%)	3-5	3-5	3-5
5.	VFWA (%)	-	-	-
6.	Indeks Perendaman (%)	75	75	75
7.	<i>Marshall Quotient</i> (kg/mm)	200-350	200-350	200-350

Sumber : Bina Marga, 1987.

Dari pengujian Marshall menghasilkan *Marshall Properties* yang terdiri atas : stabilitas, *flow*, *density*, VFWA, VITM, *Marshall Quotient*, dan VMA.

3.5.2. Stabilitas

Stabilitas adalah beban maksimal yang dapat didukung oleh sampel benda uji pada suhu 140° F dengan kecepatan pembebanan 2 *inch*/menit. Stabilitas *Marshall* juga dipengaruhi oleh suhu lingkungan, kekerasan bitumen, dan juga penggunaan bahan tambah seperti polimer (Hunter, 1994). Adapun tipikal hubungan antara kadar aspal dengan nilai stabilitas dapat dilihat pada Gambar 3.1. berikut ini.



Gambar 3.1. Grafik Hubungan Stabilitas dengan Kadar Aspal

Sumber : Robert, F. L. Etc.al, 1971 dalam Susianti, N, 1999

Nilai stabilitas diperoleh dengan persamaan 3.1 berikut :

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

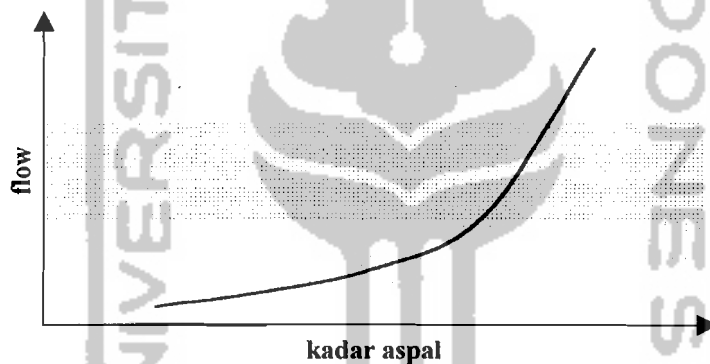
Keterangan : S = Angka stabilitas sesungguhnya

p = Pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat

q = Angka koreksi benda uji

3.5.3 *Flow*

Flow menyatakan besarnya penurunan (deformasi benda uji) campuran dengan angka kelelahan tinggi serta stabilitas rendah di atas batas maksimum akan cenderung plastis. Apabila campuran dengan angka kelelahan rendah dan stabilitas tinggi dibawah batas optimum akan cenderung bersifat getas dan mudah retak bila ada pembebanan. Adapun tipikal hubungan antara kadar aspal dengan nilai *flow* dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut ini.



Gambar 3.2. Grafik Hubungan *Flow* dengan Kadar Aspal
 Sumber : Robert, F. L. Etc.al, 1971 dalam Susianti, N, 1999

3.5.4 *Density*

Nilai *density* menunjukkan tingkat kepadatan suatu campuran perkerasan agregat dan aspal. Nilai kepadatan ini juga menunjukkan kerapatan campuran yang telah dipadatkan. Semakin besar nilai *density*, kerapatan dan kepadatan campuran semakin baik sehingga kemampuan perkerasan untuk menahan beban besar semakin meningkat. Besarnya nilai *density* dapat dihitung dengan persamaan 3.2 dan 3.3 berikut ini.

$$g = \frac{c}{f} \quad (3.2)$$

$$f = d - e \quad (3.3)$$

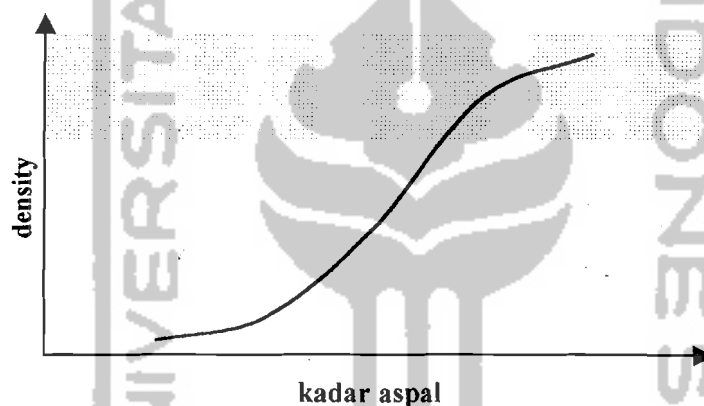
Keterangan : g = Nilai *density* (gr/cc)

c = Berat kering sebelum direndam (gr)

d = Berat benda uji jenuh air (gr)

e = Berat benda uji dalam air (gr)

f = Volume benda uji (cc)

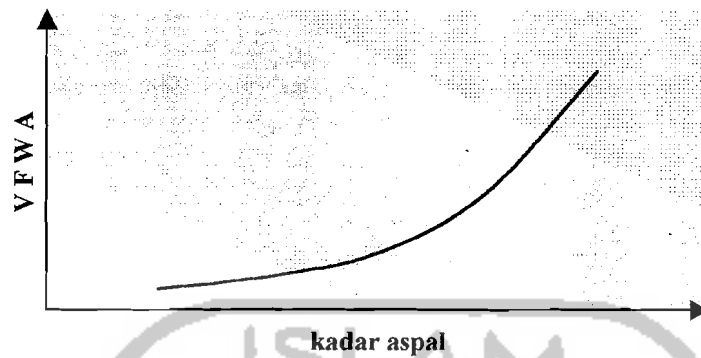


Gambar 3.3. Grafik Hubungan *Density* dengan Kadar Aspal

Sumber : Robert, F. L. Etc.al, 1971 dalam Susianti, N, 1999

3.5.5 *Void Filled With Asphalt* (VFWA)

VFWA adalah persentase rongga dalam campuran yang terisi aspal yang nilainya akan naik berdasarkan naiknya kadar aspal sampai batas tertentu, dimana rongga telah penuh artinya rongga dalam campuran telah terisi penuh oleh aspal maka persen kadar aspal yang mengisi rongga adalah persen kadar aspal optimum. Adapun tipikal hubungan antara kadar aspal dengan nilai VFWA dapat dilihat pada Gambar 3.4 berikut ini.



Gambar 3.4. Grafik Hubungan VFWA dengan Kadar Aspal
 Sumber : Robert, F. L. Etc.al, 1971 dalam Susianti, N, 1999

Nilai VFWA diperoleh dengan persamaan 3.4 :

$$\text{VFWA} = 100 \times \frac{j}{l} \quad (3.4)$$

$$i = \frac{b \times g}{B_j \text{ Aspal}} \quad (3.5)$$

$$j = \frac{(100 - b) \times g}{B_j \text{ Agregat}} \quad (3.6)$$

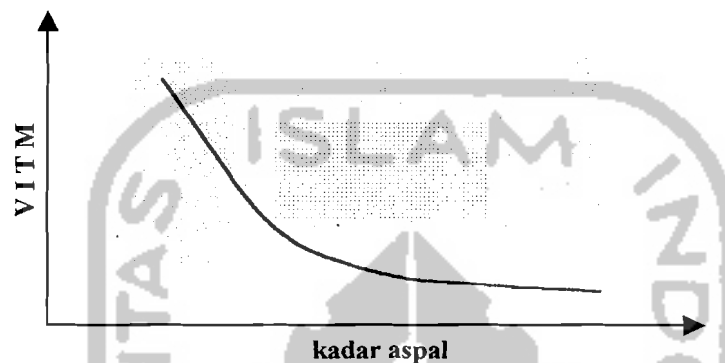
$$l = 100 - j \quad (3.7)$$

Keterangan : b = Persentase aspal terhadap campuran (gr)
 g = Berat isi sampel (gr/cc)

3.5.6 Void In Total Mix (VITM)

VITM adalah persentase rongga udara yang ada terhadap volume campuran. VITM sama artinya dengan porositas. Nilai VITM akan berkurang bila kadar aspal campuran bertambah, karena rongga antar agregat akan banyak terisi aspal.

Porositas aspal dipengaruhi oleh suhu pemadatan, gradasi, energi pemadatan dan kadar aspal. Adapun tipikal hubungan antara kadar aspal dengan nilai VITM dapat dilihat pada Gambar 3.5 berikut ini.



Gambar 3.5. Grafik Hubungan VITM dengan Kadar Aspal
Sumber : Robert, F. L. Etc.al, 1971 dalam Susianti, N, 1999

Nilai VITM diperoleh dengan persamaan 3.8 :

$$\text{VITM} = 100 - (100 \times g/h) \quad (3.8)$$

$$h = \frac{100}{\left(\frac{\% \text{ Agregat}}{B_{jAgregat}} + \frac{\% \text{ Aspal}}{B_{jAspal}} \right)} \quad (3.9)$$

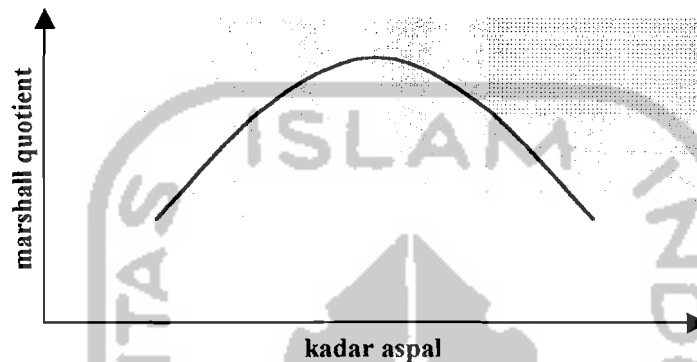
Keterangan : g = Berat isi sampel (gr/cc)

h = Berat jenis maksimum teoritis campuran

3.5.7 Marshall Quotient (Mq)

Marshall Quotient adalah perbandingan antara nilai stabilitas dan *flow*. Nilai *Marshall Quotient* pada perencanaan perkerasan digunakan sebagai pendekatan nilai fleksibilitas perkerasan. Fleksibilitas akan naik disebabkan oleh penambahan kadar aspal dan akan turun setelah sampai pada batas optimum, yang disebabkan

berubahnya fungsi aspal sebagai pengikat menjadi pelicin. Spesifikasi didapat berdasarkan spesifikasi stabilitas dan *flow*. Adapun tipikal hubungan antara kadar aspal dengan nilai *Marshall Quotient* dapat dilihat pada Gambar 3.6 berikut ini.



Gambar 3.6. Grafik Hubungan *Marshall Quotient* dengan Kadar Aspal

Sumber : Robert, F. L. Etc.al, 1971 dalam Susianti, N, 1999

Nilai *Marshall Quotient* diperoleh dengan persamaan 3.10 berikut :

$$MQ = \frac{S}{R} \quad (3.10)$$

Keterangan : S = Nilai stabilitas (kg)
 R = Nilai *flow* (mm)
 MQ = Nilai *Marshall Quotient* (kg/mm)

3.5.8 *Imersion Test*

Imersion test atau uji perendaman *Marshall* bertujuan untuk mengetahui perubahan karakteristik dari campuran akibat pengaruh air, suhu, dan cuaca. Pengujian ini prinsipnya sama dengan pengujian *Marshall* standar hanya waktu perendaman saja yang berbeda. Benda uji pada *Imersion Test* direndam selama 24 jam pada suhu 60°C sebelum pembebanan diberikan. Uji perendaman ini mengacu pada AASHTO T.165-82.

Hasil perhitungan indeks tahanan campuran aspal adalah prosentase nilai stabilitas campuran yang direndam selama 24 jam (S2) yang dibandingkan dengan nilai stabilitas campuran biasa (S1), seperti tercantum pada persamaan 3.11 berikut ini.

$$\text{Index of retained strength} : \frac{S_2}{S_1} \times 100 \% \quad (3.11)$$

Keterangan : S1 = stabilitas setelah direndam selama 30 menit

S2 = stabilitas pada rendaman 24 jam

Indeks perendaman ini merupakan indikasi tingkat durabilitas, yaitu sifat keawetan dari suatu perkerasan lentur. Pada aplikasi di lapangan diharapkan bahwa suatu perkerasan yang baru dibuat akan memiliki sifat awet, yaitu tahan terhadap cuaca berupa kondisi panas, dingin, lembab dan sebagainya. Nilai indeks perendaman minimum adalah 75% sehingga campuran dapat dikatakan memiliki ketahanan cukup terhadap kerusakan dari pengaruh air, suhu, dan cuaca menurut Bina Marga 1987.

3.6 *Modulus Resilient*

Pembebanan yang dilakukan untuk penghitungan *modulus resilient* (M_R) adalah pembebanan dengan beban statis pada uji tarik tak langsung berdasarkan (ASTM D4123-82). *Modulus Resilient* dapat dihitung dengan persamaan 3.12.

$$M_R = \frac{P(\mu + 0,2732)}{t \Delta H} \quad (3.12)$$

Keterangan : M_R = *modulus resilient* (Mpa)
 P = beban pada batas sebanding (N)
 μ = *poisson's ratio*
 t = tinggi benda uji (mm)
 ΔH = deformasi horisontal *recoverable* (mm)

3.6.1 Pengujian Tarik Tak Langsung Beban Statis

Pengujian Tarik Tak Langsung Beban Statis dilakukan dengan *Universal Testing Mechine* (UTM) untuk mengetahui *Modulus Resilient* (M_R) dari campuran. Dari pengujian ini dapat diketahui hubungan antara besarnya beban dan deformasi yang terjadi pada benda uji yang nantinya dapat digunakan untuk mengetahui nilai M_R campuran. Dari hasil pengujian tarik tak langsung akan didapat persamaan untuk menghitung nilai angka *poisson* (μ) yang merupakan salah satu nilai masukan untuk mendapat nilai M_R . Pada penelitian ini angka *poisson* (μ), dihitung berdasarkan ASTM D4123-82 (1987) sesuai persamaan 3.13.

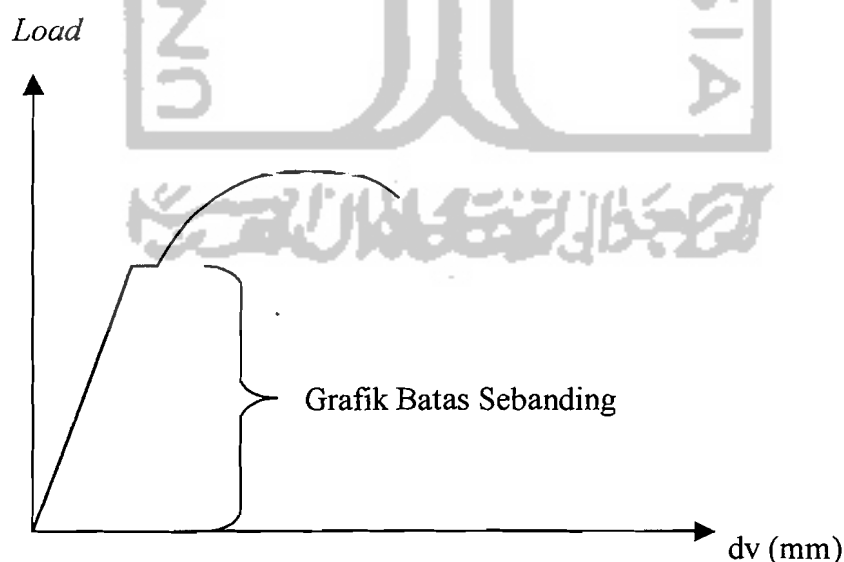
$$\mu = 3,59 \frac{H}{V} - 0,27 \quad (3.13)$$

Keterangan : μ = Nilai *Poisson* total
 H = Regangan horisontal d_h (mm)
 V = Regangan vertikal d_v (mm)

Besarnya tegangan maksimum pada batas sebanding selanjutnya dapat ditentukan yaitu beban yang menyebabkan benda uji mengalami deformasi vertikal dan horisontal yang masih bersifat *recoverable*. Kondisi deformasi yang masih

bersifat *recoverable* artinya pada saat beban yang diterima benda uji dilepas maka deformasi akan kembali ke keadaan semula sebelum terjadi pembebanan. Pada titik batas sebanding (*proportional limit*) yaitu pada ujung atas garis lurus pada grafik beban vs deformasi vertikal dapat dilihat besarnya beban pada titik tersebut yang dapat dibaca pada layar komputer, seperti dapat dilihat pada Gambar 3.7. Pada nilai beban tersebut dilihat pula besarnya deformasi horizontal yang dibaca secara manual kemudian dihitung besarnya M_R untuk setiap benda uji.

Prinsip kerja pengujian tarik tak langsung dengan alat *UTM* ini adalah memberikan beban pada sampel berbentuk silinder dengan beban kompresi tunggal atau berulang yang beraksi paralel disepanjang diameter vertikalnya. Konfigurasi pembebanan ini mengakibatkan tegangan tarik pada arah tegak lurus arah pembebanan yang mengakibatkan keruntuhan (*failure*), pada benda uji ditandai dengan retaknya spesimen sepanjang diameter vertikalnya.



Gambar 3.7. Grafik Batas Sebanding

Sumber : Laboratorium PAU UGM