

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Laston (Lapis Aspal Beton)

Menurut Sukirman (1999), Laston adalah lapisan perkerasan yang terdiri dari aspal keras dan campuran agregat bergradasi menerus yang dicampur, dihamparkan dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu. Laston (Lapis Aspal Beton) merupakan salah satu jenis lapis permukaan yang bersifat struktural yang umum digunakan di Indonesia.

Komposisi dari agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi (*filler*) membuat adanya ikatan saling mengunci antara satu dengan yang lain. Ditambah dengan adanya aspal sebagai pengikat membuat campuran memiliki sedikit rongga. Hal ini menyebabkan laston bersifat kaku dan mempunyai stabilitas yang tinggi. Laston terdiri dari 3 macam lapis, yaitu Laston Lapis Aus (*AC-WC*), Laston Lapis Permukaan Antara (*AC-BC*) dan Laston Lapis Pondasi (*AC-Base*) (Departemen Pekerjaan Umum, 2010). Ketentuan sifat laston (AC) sebagai acuan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Laston (AC)

Sifat-Sifat Campuran		Lapis Aspal Beton (Laston)					
		Lapis Aus		Lapis Pengikat		Lapis Pondasi	
		Halus	Kasar	Halus	Kasar	Halus	Kasar
Kadar aspal efektif		5,1	4,3	4,3	4,0	4,0	3,5
Penyerapan aspal (%)	Maks.	1,2					
Jumlah tumbukan perbidang		75			112		
Rongga dalam campuran (VIM) (%)	Min.	3,5					
	Maks.	5,0					
Rongga dalam agregat (VMA) (%)	Min	15		14		13	
Rongga terisi aspal (VFA) (%)	Min.	65		63		60	

(Sumber: Ditjen Bina Marga, 2010)

Lanjutan Tabel 3.1 Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Laston (AC)

Sifat-Sifat Campuran		Lapis Aspal Beton (Laston)					
		Lapis Aus		Lapis Pengikat		Lapis Pondasi	
		5,1	4,3	4,3	4,0	4,0	3,5
Stabilitas <i>Marshall</i> (Kg)	Min.	800				1800	
	Maks.	-				-	
Pelelehan (mm)	Min.	3				4,5	
<i>Marshall Quotient</i> (kg/mm)	Min.	250				300	
Stabilitas <i>Marshall</i> sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C	Min.	90					
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (refusal)	Min.	2,5					

(Sumber: Ditjen Bina Marga, 2010)

3.2 Aspal

Aspal adalah salah satu material konstruksi lentur yang terbuat dari hidrokarbon yang berfungsi untuk mengikat agregat. Aspal umumnya berasal dari salah satu hasil destilasi minyak bumi (aspal minyak) dan bahan alami (aspal alam). Aspal merupakan komponen kecil yang umumnya hanya 4 – 10% dari berat campuran. Namun aspal merupakan komponen penting dan relatif lebih mahal. Secara garis besar aspal terbagi menjadi 3, yaitu:

1. Aspal Alam

Sesuai dengan namanya, aspal alam adalah aspal yang terbentuk dari proses alam dan bisa ditemukan di alam (gunung aspal atau danau). Salah satu aspal alam yang terkenal di Indonesia adalah Asbuton (Aspal Pulau Buton) yang ditemukan di Pulau Buton, Sulawesi Tenggara. Asbuton merupakan batu yang mengandung aspal dan ditemukan begitu saja di alam sehingga kadar bitumen yang dikandungnya bervariasi.

2. Aspal Buatan

Aspal buatan adalah aspal yang diperoleh dari residu hasil destilasi minyak bumi. Residu dari minyak bumi antara lain *Asphaltic Base Crude Oil*, *Parafin Base Crude Oil* dan *Mixed Base Crude Oil*. *Asphalt Base Crude Oil* merupakan residu dari minyak bumi yang banyak mengandung aspal dan umumnya

digunakan untuk perkerasan jalan. Penggunaannya aspal minyak dibagi menjadi beberapa jenis, antara lain:

a. Aspal Keras/Semen/Beton (*Asphalt Concrete*)

Aspal keras adalah aspal yang memiliki bentuk padat atau semi padat pada suhu ruang. Sebelum digunakan sebagai bahan pengikat agregat, aspal keras harus dipanaskan terlebih dahulu hingga suhu tertentu. Menurut nilai penetrasinya, aspal keras dibedakan menjadi beberapa jenis, yaitu:

- 1) AC pen 40/50, yaitu AC dengan penetrasi antara 40 – 50.
- 2) AC pen 60/70, yaitu AC dengan penetrasi antara 60 – 70.
- 3) AC pen 85/100, yaitu AC dengan penetrasi antara 85 – 100.
- 4) AC pen 120/150, yaitu AC dengan penetrasi antara 120 – 150.
- 5) AC pen 200/300, yaitu AC dengan penetrasi antara 200 – 300.

Aspal dengan nilai penetrasi rendah digunakan untuk daerah dengan cuaca panas serta volume lalu lintasnya tinggi. Sedangkan aspal dengan nilai penetrasi tinggi digunakan untuk daerah dengan cuaca dingin dan volume lalu lintas yang relatif rendah. AC pen 60/70 merupakan aspal standar yang digunakan di Indonesia.

b. Aspal Dingin/Cair

Aspal cair adalah aspal yang berbentuk cair pada suhu ruang dan merupakan campuran antara aspal semen bahan pencair dari hasil penyulingan minyak bumi. Aspal dingin dibagi menjadi 3, yaitu:

- 1) RC (*Rapid Curing Cut Back*), yaitu aspal cair dengan bahan pencair bensin dan merupakan aspal cair yang paling cepat menguap.
- 2) MC (*Medium Curing Cut Back*), yaitu aspal cair dengan bahan pencair minyak tanah/kerosene.
- 3) SC (*Slow Curing Cut Back*), yaitu aspal cair dengan bahan pencair solar/minyak diesel dan merupakan aspal cair yang paling lambat menguap.

c. Aspal Emulsi (*Emulsified Asphalt*)

Aspal emulsi adalah aspal yang terbentuk dari proses pencampuran aspal dengan air dan bahan pengemulsi. Aspal emulsi jauh lebih cair dari aspal cair.

3. Aspal Modifikasi

Aspal modifikasi adalah aspal yang dibuat dari campuran aspal keras dengan bahan tambah tertentu. Bahan tambah yang sering digunakan untuk aspal modifikasi biasanya adalah jenis polimer, antara lain polimer plastomer dan elastomer. Tujuan dari adanya aspal modifikasi adalah sebagai berikut.

- a. Memperoleh aspal dengan karakteristik tertentu, misal aspal yang bersifat lebih fleksibel atau aspal yang kedap terhadap air.
- b. Mempermudah dalam pelaksanaan, misal untuk mengurangi viskositas pada temperatur penghamparan sehingga mempermudah dalam pelaksanaan penghamparannya sekaligus pada pematatannya.
- c. Meningkatkan stabilitas dan kekuatan campuran beraspal.

Adapun aspal yang digunakan pada penelitian ini adalah aspal keras dengan jenis AC Pen 60/70. Persyaratan aspal keras sebagai acuan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Persyaratan Aspal Keras

No.	Jenis Pengujian	Satuan	Metode	Persyaratan				
				Pen 40	Pen 60	Pen 80	Pen 120	Pen 200
1.	Penetrasi, 25 °C, 100 gr, 5 detik	0,01 mm	SNI 06-2456-1991	40 – 59	60 – 79	80 – 99	120 – 150	200 – 300
2.	Titik Lembek	°C	SNI 06-2434-1991	51 – 63	(50 – 58)	(46 – 54)	120 – 150	200 – 300
3.	Titik Nyala	°C	SNI 06-2433-1991	Min. 200	Min. 200	Min. 225	218	177
4.	Daktilitas, 25 °C	Cm	SNI 06-2432-1991	Min. 100	Min. 100	Min. 100	Min. 100	-
5.	Kelarutan dalam <i>Trichlor Ethylen</i>	% berat	SNI 06-2438-1991	Min. 99	Min. 99	Min. 99	Min. 99	Min. 99
6.	Penurunan Berat (dengan TFOT)	% berat	SNI 06-2441-1991	Maks. 0,8	Maks. 0,8	Maks. 1,0	Maks. 1,3	Maks. 1,3
7.	Penetrasi setelah penurunan berat	% asli	SNI 06-2456-1991	Min. 58	Min. 54	Min. 50	Min. 46	Min. 40
8.	Daktilitas setelah penurunan berat	Cm	SNI 06-2432-1991	-	Min. 50	Min. 75	Min. 100	Min. 100
9.	Berat jenis	-	SNI 06-2488-1991	Min 1,0	Min 1,0	Min 1,0	-	-
10.	Uji bintik - <i>Standard Naptha</i> - <i>Naptha Xylene</i> - <i>Hephtane Xylene</i>	-	AASHTO T. 102	Negatif				

(Sumber: Permen No.28-PRT-M-2007)

3.3 Agregat

Agregat merupakan komponen paling penting pada struktur perkerasan jalan karena hampir 90 – 95% berat atau 75 – 85% dari volume suatu struktur perkerasan jalan adalah agregat (Sukirman, 2003). Sehingga kualitas struktur perkerasan jalan ditentukan juga dari sifat agregat dan ikatan dengan material lain (aspal). Agregat dapat dibedakan menjadi beberapa fraksi, yaitu:

1. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan yaitu agregat yang tertahan saringan no. 8 atau mempunyai ukuran butir > 2,36 mm. Pada campuran laston, agregat kasar terdiri dari batu pecah dan kerikil yang nantinya akan diuji sesuai spesifikasi SNI 03-1968-1990. Agregat kasar yang digunakan harus bebas dari kotoran, kuat, kering serta memiliki tekstur permukaan yang kasar dan bersudut agar saling mengunci (*interlocking*) dengan material lain. Agregat kasar harus memenuhi ketentuan yang tertera pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Ketentuan Agregat Kasar

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

(Sumber: Ditjen Bina Marga, 2010)

2. Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan adalah agregat yang memiliki ukuran butir > 0,075 mm dan < 2,36 mm. Pada campuran laston agregat kasar terdiri dari pasir

dan batu pecah yang diuji sesuai SNI 03-1968-1990. Agregat halus yang digunakan harus bersih, keras dan tidak mengandung bahan organik serta berbutir kasar/tajam. Fungsi utama dari agregat halus adalah mendukung stabilitas dan mengurangi deformasi permanen. Agregat halus juga berfungsi sebagai pengisi rongga-rongga udara yang tidak dapat diisi oleh agregat kasar. Agregat halus harus memenuhi ketentuan yang tertera pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Standar	Nilai
Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Min 50% untuk SS, HRS dan AC bergradasi halus Min 70% untuk AC bergradasi kasar
Material Lolos Ayakan No. 200	SNI 03-4428-1997	Maks. 8%
Kadar Lempung	SNI 3423:2008	Maks. 1%
Angularitas (kedalaman dari permukaan < 10 cm)	AASHTO TP-33 atau ASTM C1252-93	Min. 45
Angularitas (kedalaman dari permukaan > 10 cm)		Min. 40

(Sumber: Ditjen Bina Marga, 2010)

3. Bahan Pengisi (*Filler*)

Bahan pengisi (*filler*) merupakan material yang lolos saringan no. 200 atau memiliki ukuran butiran < 0,075 mm. *Filler* dapat berupa debu batu kapur, *cement portland*, *fly ash* atau abu batu yang nantinya akan mengisi ruang antara agregat halus dan kasar sehingga kepadatan dan kestabilannya akan meningkat. *Filler* yang digunakan harus kering dan bersih dari kotoran organik. *Filler* digunakan untuk memodifikasi berat jenis campuran dan mengurangi kadar aspal yang akan digunakan. Penggunaan kadar *filler* yang berlebihan akan membuat campuran menjadi getas dan mudah retak tetapi kadar *filler* yang terlalu sedikit mengakibatkan campuran bersifat lunak.

3.4 Gradasi Agregat

Gradasi agregat merupakan suatu campuran agregat yang terdiri dari beberapa ukuran butir agregat. Gradasi agregat ditentukan oleh analisa saringan dimana suatu agregat yang telah bergradasi harus melalui satu set saringan. Nilai gradasi agregat berdasarkan pada perbandingan berat agregat yang lolos atau tertahan saringan terhadap total berat agregat. Gradasi agregat dapat mempengaruhi besarnya rongga dalam campuran (yang nantinya akan diisi oleh aspal), *workability* (sifat mudah dikerjakan) dan stabilitas pada campuran. Gradasi agregat dapat dibedakan menjadi 3, yaitu:

1. Gradasi Senjang

Gradasi senjang adalah gradasi agregat dimana terdapat beberapa ukuran fraksi agregat tidak ada atau tidak lengkap. Hal ini menyebabkan gradasi ini bersifat porus atau memiliki permeabilitas yang tinggi karena ada beberapa rongga yang tidak bisa diisi oleh agregat.

2. Gradasi Seragam atau Terbuka

Gradasi seragam adalah gradasi agregat yang memiliki susunan ukuran butir agregat yang hampir sama. Disebut juga gradasi terbuka karena gradasi agregat ini hanya mengandung sedikit agregat halus sehingga banyak terdapat rongga antar agregat yang tidak bisa diisi karena ukuran agregat memiliki ukuran yang relatif sama. Hal ini menyebabkan gradasi agregat ini bersifat porus atau memiliki permeabilitas yang tinggi, stabilitas yang rendah dan berat isi yang rendah.

3. Gradasi Rapat atau Menerus

Gradasi rapat adalah gradasi agregat dimana ukuran butir agregat lengkap mulai dari agregat kasar sampai agregat halus sehingga gradasinya menerus. Gradasi jenis ini merupakan jenis gradasi yang paling baik. Campuran agregat dengan gradasi rapat memiliki nilai stabilitas yang tinggi, cenderung kedap air dan memiliki berat isi yang besar. Agregat jenis ini dibedakan menjadi 2, yaitu:

a. Agregat bergradasi kasar, dimana agregat bergradasi rapat yang didominasi oleh agregat ukuran butir kasar.

- b. Agregat bergradasi halus, dimana agregat bergradasi rapat yang didominasi oleh agregat ukuran butir halus.

Pada penelitian tugas akhir ini, penulis menggunakan gradasi agregat rapat bergradasi kasar. Ketentuan gradasi agregat dapat dilihat pada Tabel 3.5.



Tabel 3.5 Gradasi Agregat Untuk Campuran Beraspal

Ukuran Ayakan		% Berat yang lolos terhadap total agregat dalam campuran					
		Laston (AC)					
		Gradasi Halus			Gradasi Kasar		
ASTM	(mm)	WC	BC	Base	WC	BC	Base
1½	37,5	-	-	100	-	-	100
1"	25	-	100	90 – 100	-	100	90 – 100
¾"	19	100	90 – 100	73 – 90	100	90 – 100	73 – 90
½"	12,5	90 – 100	74 – 90	61 – 79	90 – 100	71 – 90	55 – 76
3/8"	9,5	72 – 90	64 – 82	47 – 67	72 – 90	58 – 80	45 – 66
No.4	2,36	54 – 69	47 – 64	39,5 – 50	43 – 63	37 – 56	28 – 39,5
No.8	0,600	39,1 – 53	34,6 – 49	30,8 – 37	28 – 39,1	23 – 34,6	19 – 26,8
No.16	0,075	31,6 – 40	28,3 – 38	24,1 – 28	19 – 25,6	15 – 22,3	12 – 18,1
No.30	4,75	23,1 – 30	20,7 – 28	17,6 – 22	13 – 19,1	10 – 16,7	7 – 13,6
No.50	2,36	15,5 – 22	13,7 – 20	11,4 – 16	9 – 15,5	7 – 13,7	5 – 11,4
No.100	1,18	9 – 15	4 – 13	4 – 10	6 – 13	5 – 11	4,5 – 9
No.200	0,600	4 – 10	4 – 8	3 – 6	4 – 10	4 – 8	3 – 7

Catatan :

1) Laston (AC) bergradasi kasar dapat digunakan pada daerah yang mengalami deformasi yang lebih tinggi dari biasanya seperti pada daerah pegunungan, gerbang tol atau pada dekat lampu lalu lintas.

(Sumber: Ditjen Bina Marga, 2010)

3.5 Polypropylene (PP)

Polypropylene atau Polipropilena (PP) merupakan polimer termoplastik yang terbuat dari propilena monomer. Polipropilena merupakan polimer yang paling ringan. Polipropilena memiliki titik lunak yang tinggi (176°C, T_m), dimensi yang lebih stabil dan memiliki kuat lentur, kuat tarik dan kekakuan yang lebih tinggi dari polietilen. Sifat mekanik polipropilena dapat ditingkatkan dengan cara mencampurkan dengan serat gelas. Sifat-sifat listrik pada polipropilena hampir sama dengan polietilen. Bahkan untuk ketahanan terhadap kimia pada polipropilena lebih baik dari polietilen.

3.6 Plastik

Plastik adalah suatu polimer yang memiliki sifat-sifat unik dan luar biasa (Mujiarto, 2005). Polimer merupakan bahan yang disusun dari unit molekul yang disebut monomer. Untuk polimer yang disusun dari monomer sejenis disebut homopolimer dan polimer yang disusun dari monomer yang berbeda disebut kopolimer. Plastik dapat dikelompokkan menjadi 2, yaitu:

1. Plastik *Thermoplast*

Plastik jenis ini merupakan plastik yang dapat didaur ulang atau dicetak berkali-kali dengan adanya panas. Yang termasuk plastik jenis ini antara lain PP, PET, PC, ABS dan lain-lain.

2. Plastik *Thermoset*

Plastik jenis ini merupakan plastik yang tidak bisa didaur ulang apabila sudah mengalami kondisi tertentu karena bangun polimernya berbentuk jaringan 3 dimensi. Yang termasuk plastik jenis ini adalah polyester, epoksi, dan lain-lain.

3.7 Plastik dan Perkerasan

Menurut Suroso (2008), ada dua cara pencampuran plastik untuk meningkatkan kinerja campuran beraspal, yaitu:

1. Cara Basah (*Wet Process*)

Suatu cara pencampuran dimana plastik dimasukkan ke dalam aspal kemudian diaduk dengan kecepatan tinggi hingga homogen. Pada dunia konstruksi cara ini dianggap kurang ekonomis karena membutuhkan pengeluaran yang lebih besar untuk bahan bakar dan *mixer* kecepatan tinggi.

2. Cara Kering (*Dry Process*)

Cara ini memasukkan plastik terlebih dahulu kedalam agregat yang dipanaskan temperatur campuran baru kemudian aspal panas ditambahkan. Selain lebih murah karena tidak membutuhkan peralatan lain untuk mencampur, cara ini juga dianggap lebih mudah. Akan tetapi kehomogenan dan keseragaman kadar plastik yang dimasukkan/dicampurkan benar-benar harus diperhatikan.

Pada penelitian ini proses pencampuran serat plastik *PP* dilakukan secara kering (*dry process*) karena proses pencampuran secara basah terlalu kompleks. Proses pembuatannya dengan memasukkan ke dalam aspal membuat nantinya akan dilakukan proses pencampuran berkali-kali. Nantinya akan dilakukan pencampuran sebanyak 5 kali untuk tiap penambahan kadar *PP* dan nantinya akan dilakukan proses pencampuran serat *PP* dengan aspal sebanyak 26 kali hanya untuk mencari nilai KAO saja jika menggunakan cara basah. Ditambah faktor ekonomis yang membuat peneliti memilih proses pencampuran secara kering (*dry process*).

3.8 Karakteristik *Marshall*

Karakteristik campuran aspal dapat diketahui dari pengujian sifat-sifat *Marshall* yang ditunjukkan pada nilai-nilai sebagai berikut.

1. Stabilitas (*Stability*)

Stabilitas merupakan kemampuan campuran beraspal untuk menerima beban yang bekerja di atasnya tanpa terjadi perubahan bentuk tetap atau sampai terjadi kelelahan plastis. Nilai stabilitas dipengaruhi oleh gradasi agregat, kualitas agregat, tekstur agregat, nilai penetrasi aspal dan kadar aspal. Nilai stabilitas yang diijinkan harus lebih dari 800 kg. Nilai stabilitas yang terlalu rendah mengakibatkan campuran bersifat lembek sehingga tidak bisa mendukung beban yang bekerja di atasnya. Sebaliknya jika nilai stabilitas

terlalu tinggi maka campuran akan bersifat getas sehingga perkerasan mudah retak. Nilai stabilitas diperoleh dari pembacaan arloji stabilitas pada saat pengujian *Marshall* yang nantinya nilai tersebut akan dicocokkan dengan angka kalibrasi *proving ring* dalam satuan *lbs* atau kilogram. Angka tersebut masih harus dikalikan dengan faktor pengoreksi yang dipengaruhi oleh tebal benda uji. Nilai stabilitas sesungguhnya dinyatakan dalam persamaan (3.1) berikut.

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

Keterangan:

S = Nilai stabilitas sesungguhnya,

p = Pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat, dan

q = Faktor koreksi.

2. Kelelehan (*Flow*)

Flow merupakan besarnya penurunan yang terjadi pada awal pembebanan benda uji akibat beban yang diterimanya yang mengakibatkan stabilitasnya menurun. Nilai *flow* dipengaruhi oleh gradasi agregat, viskositas aspal, kadar aspal dan proses pemadatan baik dari temperatur pemadatan maupun jumlah campuran yang dipadatkan. Campuran dengan nilai *flow* yang rendah cenderung bersifat getas sehingga mudah retak, sedangkan campuran dengan nilai *flow* yang tinggi cenderung bersifat lembek sehingga akan mudah mengalami deformasi.

3. Kerapatan (*Density*)

Density adalah suatu nilai yang menunjukkan tingkat kerapatan campuran setelah dilakukan proses pemadatan. Semakin tinggi nilai *density* suatu campuran maka kerapatannya akan semakin baik. Nilai *density* dipengaruhi oleh gradasi agregat, kualitas agregat, kadar aspal, bahan *additive* dan proses pemadatan. Semakin besar nilai *density* suatu campuran maka semakin besar juga beban yang mampu diterimanya. Selain itu semakin besar nilai *density* maka campuran akan semakin kedap terhadap air dan udara. Nilai kepadatan/*density* dinyatakan dalam persamaan (3.2) berikut.

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

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

Keterangan:

g = Nilai kepadatan (gr/cc),

c = Berat kering campuran (gr),

d = Berat benda uji jenuh air (gr),

e = Berat benda uji dalam air (gr), dan

f = Volume benda uji (cc).

4. *VITM (Void In The Mix)*

VITM adalah persentase perbandingan antara rongga udara pada campuran beraspal dengan volume campuran total setelah dilakukannya proses pemadatan. Nilai *VITM* berbanding terbalik dengan kadar aspal dimana nilai *VITM* akan semakin kecil apabila kadar aspal yang digunakan semakin besar. Menurut Spesifikasi Umum Bina Marga (2010), lapis pengikat campuran laston harus memiliki nilai *VITM* pada rentang 3,5 – 5%. Nilai *VITM* yang terlalu rendah akan menyebabkan *bleeding* karena pada suhu tinggi viskositas aspal akan menurun. Pada saat itu apabila suatu campuran tidak memiliki rongga yang cukup maka pada saat perkerasan tersebut menerima beban aspal akan terdesak keluar. Nilai *VITM* yang terlalu besar membuat campuran bersifat porus. Hal ini membuat lapis perkerasan menjadi kurang awet karena dengan semakin kurang rapatnya campuran maka air dan udara akan dengan mudah masuk ke dalam campuran yang menyebabkan aspal akan mudah teroksidasi. Hal ini menyebabkan kadar aspal pada campuran akan menurun yang menyebabkan lekatan antar agregat berkurang sehingga terjadi pelepasan butiran (*revelling*) dan permukaannya mengelupas (*stripping*). Nilai *VITM* dapat diperoleh dari persamaan (3.4) berikut.

$$VITM = (100 - i - j) \quad (3.4)$$

$$b = \frac{a}{100+a} \times 100 \quad (3.5)$$

$$i = \frac{b \times g}{BJ.Agregat} \quad (3.6)$$

$$j = \frac{(100-b) \times g}{BJ.Agregat} \quad (3.7)$$

Keterangan:

a = Persentase volume aspal terhadap volume agregat,

b = Persentase volume aspal terhadap volume campuran,

g = Persentase volume rongga terisi aspal terhadap volume campuran, dan

i dan j = rumus substitusi.

5. *VFWA (Void Filled With Asphalt)*

VFWA (Void Filled With Asphalt) adalah nilai persentase rongga yang terisi oleh aspal pada campuran setelah dilakukan proses pemadatan. Yang mempengaruhi nilai *VFWA* antara lain faktor pemadatan (metode dan temperatur pemadatan), gradasi agregat dan kadar aspal yang digunakan. Semakin tinggi nilai *VFWA* maka banyak rongga yang terisi aspal sehingga kedekatan campuran terhadap air dan udara akan semakin tinggi. Akan tetapi nilai *VFWA* yang terlalu tinggi menyebabkan terjadinya *bleeding*. Sedangkan nilai *VFWA* yang terlalu kecil akan menyebabkan lapisan aspal film menjadi tipis sehingga campuran kurang kedap terhadap air dan udara serta menjadi mudah retak bila menerima beban. Nilai minimal *VFWA* yang digunakan untuk laston lapis pengikat adalah 63%. Nilai *VFWA* akan naik seiring dengan penambahan kadar aspal sampai batas tertentu. Nilai *VFWA* dapat dihitung dari persamaan (3.8) berikut.

$$VFWA = 100 \times \frac{i}{j} \quad (3.8)$$

$$b = \frac{a}{100+a} \times 100 \quad (3.9)$$

$$i = \frac{b \times g}{BJ.Agregat} \quad (3.10)$$

$$j = \frac{(100-b) \times g}{BJ.Agregat} \quad (3.11)$$

$$l = 100 - j \quad (3.12)$$

Keterangan:

a = Persentase aspal terhadap agregat,

b = Persentase aspal terhadap campuran,

g = Persentase rongga terisi aspal, dan

i dan j = rumus substitusi.

6. *VMA (Void In Mineral Agregate)*

VMA (Void In Mineral Agregate) adalah nilai persentase rongga udara dan kadar aspal yang digunakan terhadap total volume campuran setelah proses pemadatan. Semakin kecil nilai *VMA* maka campuran akan bermasalah dengan sifat durabilitasnya dan jika nilai *VMA* terlalu besar maka campuran akan bersifat porous sehingga stabilitasnya tidak terpenuhi. Nilai *VMA* dipengaruhi oleh faktor pemadatan (metode pemadatan dan temperatur pemadatan), gradasi agregat dan kadar aspal yang digunakan. Nilai *VMA* berpengaruh terhadap nilai stabilitas, fleksibilitas dan durabilitas. Nilai *VMA* untuk laston lapis pengikat adalah 15%.

7. *MQ (Marshall Quotient)*

MQ (Marshall Quotient) merupakan nilai perbandingan antara stabilitas dengan *flow* di mana nilai ini menunjukkan tingkat fleksibilitas suatu campuran. Semakin besar nilai *MQ* maka campuran akan semakin kaku dan semakin kecil nilai *MQ* maka campuran akan semakin lentur. Nilai *MQ* untuk laston lapis pengikat haruslah lebih besar dari 250 kg/mm. Nilai *MQ* yang kurang dari 250 kg/mm menyebabkan perkerasan mudah mengalami *rutting* dan *bleeding*, sedangkan nilai *MQ* yang terlalu besar mengakibatkan perkerasan menjadi kaku dan mudah retak. Nilai *MQ* dapat dihitung dari persamaan (3.13) berikut.

$$MQ = \frac{S}{F} \quad (3.13)$$

Keterangan:

S = Nilai stabilitas,

F = Nilai *flow*, dan

MQ = Nilai *Marshall Quotient* (kg/mm).

3.9 Pengujian Kuat Tarik Tidak Langsung (*Indirect Tensile Test*)

Tujuan dari pengujian kuat tarik tidak langsung adalah untuk mengetahui nilai gaya tarik dari campuran aspal beton sehingga dapat memperkirakan potensial retakan. Metode pelaksanaan pengujian ini adalah dengan menggunakan benda uji berbentuk silinder yang dilakukan pembebanan dengan menggunakan dua plat penekan yang menciptakan tegangan tarik yang tegak lurus sepanjang diameter benda uji sehingga menyebabkan pecahnya benda uji. Uji ini dilakukan dengan menggunakan alat uji *Marshall* yang telah dimodifikasi dengan plat berbentuk cekung dengan lebar 12,5 mm pada bagian penekan *Marshall*. Proses pengukuran dihentikan ketika jarum pengukur pembebanan telah berbalik arah atau berlawanan dengan arah jarum jam. Nilai uji kuat tarik tidak langsung dapat diperoleh dari persamaan (3.14) berikut.

$$ITS = \frac{2 \times P}{\pi \times d \times h} \quad (3.14)$$

Keterangan:

ITS = Nilai kuat tarik tidak langsung (N/mm²),

P = Nilai stabilitas (N),

h = Tinggi benda uji (mm), dan

d = Diameter benda uji (mm).

3.10 Karakteristik Pengujian Perendaman (*Immersion Test*)

Metode pelaksanaan ini hampir sama dengan pengujian *Marshall*, yang membedakan hanya waktu perendamannya saja. Benda uji pada *Immersion Test* direndam selama 0,5 jam dan 24 jam pada suhu konstan 60°C. Nilai *Immersion Test* direpresentasikan dengan indeksi tahanan campuran atau *Index of Retained Strength (IRS)* yang merupakan nilai persentase nilai stabilitas campuran yang direndam selama 24 jam yang dibandingkan dengan stabilitas campuran biasanya yaitu 0,5 jam. Nilai *IRS* dapat diperoleh dari persamaan (3.15) berikut.

$$IRS = \frac{S_1}{S_2} \times 100\% \quad (3.15)$$

Keterangan:

IRS = Indeks stabilitas sisa (%),

*S*₁ = Stabilitas *Marshall* perendaman 24 jam (kg), dan

*S*₂ = Stabilitas *Marshall* perendaman 0,5 jam (kg).

