

## BAB III

### LANDASAN TEORI

#### 3.1 Struktur Perkerasan Jalan

Perkerasan lentur adalah perkerasan jalan menggunakan aspal sebagai bahan pengikat campuran. Jenis perkerasan lentur yang biasa digunakan adalah aspal beton (*asphalt concrete*), dan aspal porus. Kedua jenis perkerasan tersebut dibedakan berdasarkan gradasi agregat yang digunakan.

Karakteristik perkerasan yang harus dimiliki oleh campuran aspal panas adalah sebagai berikut.

1. Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan lapisan perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang (deformasi permanen), alur ataupun *bleeding* (keluarnya aspal ke permukaan). Stabilitas terjadi dari hasil geseran antar agregat, penguncian butir partikel dan daya ikat yang baik dari lapisan aspal. Sehingga stabilitas yang tinggi dapat diperoleh dengan mengusahakan penggunaan seperti berikut.

- a. Agregat dengan gradasi yang rapat (*dense graded*).
- b. Agregat dengan permukaan kasar.
- c. Agregat berbentuk kubus.
- d. Aspal dengan penetrasi rendah.
- e. Aspal dalam jumlah yang mencukupi untuk ikatan antar butir.

2. Kelelahan (*flow*)

*Flow* adalah besarnya deformasi vertikal sampel yang terjadi mulai saat awal pembebanan sampai kondisi kestabilan maksimum sehingga sampel hancur, dinyatakan dalam satuan milimeter (mm). Pengukuran *flow* bersamaan dengan pengukuran nilai stabilitas *Marshall*. Nilai *flow* mengindikasikan campuran bersifat elastis dan lebih mampu mengikuti deformasi akibat beban. Nilai *flow* dipengaruhi oleh kadar aspal dan viskositas aspal, gradasi, suhu, dan jumlah pemadatan.

### 3. Durabilitas (keawetan/daya tahan)

Kemampuan lapis perkerasan dalam mempertahankan diri dari kerusakan yang terjadi selama umur rencana. Kerusakan dapat terjadi karena pengaruh lalu lintas serta pengaruh buruk dari lingkungan dan iklim (cuaca, air, dan temperatur).

Faktor yang mempengaruhi durabilitas adalah sebagai berikut.

- a. *Film* (selimut) aspal, lapis aspal yang berdurabilitas tinggi dapat dihasilkan oleh film aspal yang tinggi, tetapi memungkinkan terjadinya *bledding* yang bertambah tinggi.
- b. *VITM* (*Void in the Total Mix*), kecil sehingga lapis kedap air dan udara tidak masuk ke dalam campuran yang menyebabkan terjadinya oksidasi dan aspal menjadi rapuh (getas).
- c. *VMA* (*Void in Mineral Agregat*), besar sehingga selimut aspal dapat dibuat tebal. Jika *VITM* dan *VMA* kecil serta kadar aspal tinggi maka kemungkinan terjadi *bleeding* dan penurunan kinerja cukup besar. Untuk mencapai *VMA* yang besar ini dipergunakan agregat bergradasi senjang.

### 4. Tahanan Geser (*Skid Resistance*)

Tahanan geser adalah kemampuan lapis permukaan pada lapis perkerasan untuk memperkecil terjadinya selip pada kendaraan baik di waktu basah maupun kering. Hal ini terjadi karena pada saat terjadi hujan kekesatan pada lapis permukaan akan berkurang walaupun tidak sampai terjadi *aquaplaning*. Kekesatan dinyatakan dengan koefisien gesek antara permukaan jalan dan ban kendaraan. Faktor tahanan geser adalah sebagai berikut.

- a. Penggunaan kadar aspal yang tepat sehingga tidak terjadi *bleeding*.
- b. Penggunaan agregat dengan permukaan kasar.
- c. Penggunaan agregat yang cukup.
- d. Penggunaan agregat berbentuk kubus.

### 5. Porositas

Porositas adalah kandungan udara yang terdapat pada campuran perkerasan. Berfungsi untuk mengalirkan air permukaan secara sempurna khusus untuk aspal porus sedangkan untuk jenis perkerasan lain diharuskan kedap air.

## 6. Fleksibilitas

Fleksibilitas adalah kemampuan lapis perkerasan untuk dapat mengikuti deformasi yang terjadi akibat beban lalu lintas berulang tanpa timbulnya retak dan perubahan volume. Untuk mendapatkan fleksibilitas yang tinggi dapat diperoleh cara seperti berikut.

- a. Penggunaan agregat bergradasi senjang sehingga diperoleh *VMA* yang besar.
- b. Penggunaan aspal lunak (aspal dengan penetrasi yang tinggi).
- c. Penggunaan aspal yang cukup banyak sehingga diperoleh *VIM* yang kecil.

## 7. Ketahanan kelelahan

Ketahanan kelelahan adalah ketahanan dari lapis beton dalam menerima beban berulang tanpa terjadinya kelelahan yang berupa alur (*rutting*) dan retak. Faktor-faktor yang mempengaruhi ketahanan terhadap kelelahan adalah sebagai berikut.

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

## 8. *Workability* (kemudahan pengerjaan)

*Workability* adalah mudahnya suatu campuran untuk dihampar dan dipadatkan sehingga diperoleh hasil yang memenuhi kepadatan yang diharapkan. *Workability* dipengaruhi oleh beberapa hal seperti berikut.

- a. Gradasi agregat, agregat bergradasi baik lebih mudah dilaksanakan daripada agregat yang bergradasi lain.
- b. Temperatur campuran yang ikut mempengaruhi kekerasan bahan pengikat yang bersifat termoplastis.
- c. Kandungan *filler* yang tinggi menyebabkan pelaksanaan lebih sulit.

### 3.2 Aspal Porus

Aspal porus adalah campuran beraspal yang di desain mempunyai porositas lebih tinggi dibandingkan jenis perkerasan yang lain, sifat porus diperoleh karena

campuran aspal porus menggunakan proporsi agregat halus lebih sedikit dibandingkan jenis campuran yang lain.

Aspal porus adalah campuran aspal yang sedang dikembangkan untuk konstruksi *wearing course*. Lapisan ini menggunakan gradasi terbuka (*open graded*) yang didominasi oleh agregat kasar, sehingga menghasilkan rongga yang cukup besar. Aspal porus memanfaatkan besarnya pori yang sengaja dibuat dengan maksud sebagai alur alir bagi air ketika terjadi genangan pada lapisan permukaan jalan. Campuran aspal porus merupakan generasi baru dalam perkerasan lentur, yang membolehkan air meresap ke dalam lapisan atas (*wearing course*) secara vertikal dan horizontal. Lapisan aspal porus ini secara efektif dapat memberikan tingkat kenyamanan terutama diwaktu hujan agar tidak terjadi genangan-genangan air serta memiliki kekesatan permukaan yang lebih kasardan dapat mengurangi kebisingan (*noise reduction*) (Djumari, 2009). Kandungan rongga pori dalam jumlah yang besar diharapkan menghasilkan kondisi permukaan agak kasar, sehingga akan mempunyai tingkat kekesatan yang tinggi. Selain itu pori yang tinggi diharapkan dapat berfungsi sebagai saluran drainase di dalam campuran (Djumari, 2009). Ketentuan campuran aspal porus dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut.

**Tabel 3.1 Ketentuan Campuran Aspal Porus**

No	Kriteria Perencanaan	Nilai
1	Uji <i>Contabro Loss</i> (%)	Maks. 35
2	Uji Aliran Aspal Kebawah (%)	Maks. 0,3
3	Kadar Rongga di Dalam Campuran ( <i>VIM</i> %)	18 – 25
4	Stabilitas <i>Marshall</i> (kg)	Min. 500
5	Kelelehan <i>Marshall</i> (mm)	2 – 6
6	Kekakuan <i>Marshall</i> (kg/mm)	Maks. 400
7	Jumlah Tumbukan Perbidang	50

Sumber: *Australian Asphalt Pavement Association* (2004)

### 3.3 Bahan Penyusun Aspal Porus

Bahan yang digunakan dalam campuran aspal porus berupa aspal, agregat, dan bahan pengisi (*filler*). Berikut ini adalah uraian tentang bahan-bahan tersebut.

#### 3.3.1 Aspal

Aspal adalah suatu cairan kental yang merupakan senyawa hidrokarbon dengan sedikit mengandung sulfur, oksigen, dan klor. Aspal berasal dari alam atau

dari pengolahan minyak bumi yang dimanfaatkan sebagai bahan pengikat campuran beraspal pada lapis permukaan lapis perkerasan lentur. Persyaratan AC 60/70 dapat dilihat pada Tabel 3.2 Persyaratan AC 60/70 berikut.

**Tabel 3.2 Persyaratan Aspal Keras AC 60/70**

No	Jenis Pemeriksaan	Metode	Persyaratan
1	Penetrasi 25°C (0,1 mm)	SNI 06-2456-1991	60 – 70
2	Titik Lembek (°C)	SNI 06-2434-1991	≥ 48
3	Titik Nyala (°C)	SNI 06-2433-1991	≥ 232
4	Kelarutan TCE (%)	RSNI M-04-2004	≥ 99
5	Daktalitas pada 25°C (cm)	SNI 06-2432-1991	≥ 100
6	Berat Jenis	SNI 06-2441-1991	≥ 1,0

Sumber : Bina Marga (2010)

### 3.3.2 Agregat

Agregat adalah sekumpulan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir, atau mineral lainnya baik berupa hasil alam maupun yang berfungsi sebagai bahan pengisi beton. Menurut asalnya agregat dapat diklasifikasikan menjadi agregat alam dan agregat buatan. Agregat alam adalah pasir, kerikil dan batu. Sedangkan, agregat buatan adalah agregat yang dibuat dengan tujuan khusus karena kekurangan bahan alam. Jenis agregat dikelompokkan menjadi 3, yaitu sebagai berikut.

#### 1. Agregat kasar

Agregat kasar yaitu batuan yang tertahan saringan no.8 (2,36 mm), menurut standart ASTM atau tertahan pada saringan no.7, menurut *Standart British*. Fungsi agregat kasar dalam campuran *Hot Rolled Sheet (HRS)* adalah untuk mengembangkan volume mortar, dengan demikian membuat campuran lebih ekonomis dan meningkatkan ketahanan terhadap kelelahan.

**Tabel 3.3 Persyaratan dan Sifat-sifat Teknis Agregat Kasar**

No	Pengujian	Standar	Nilai	Satuan
1	Keausan dengan mesin <i>Los Angeles</i>	SNI 2417 : 2008	< 30	%
2	Kelekatan dengan aspal	SNI 2439 : 2011	> 95	%
3	Kekekalan bentuk agregat terhadap natrium	SNI 3407 : 2008	12	%
4	Material lolos ayakan no.200	SNI 03-4142 : 1996	< 2	%
5	Partikel pipih dan lonjong	ASTM D4791 perb 1:5	< 10	%

Sumber : Bina Marga (2010)

## 2. Agregat halus

Agregat halus dapat berupa pasir, batu pecah atau kombinasi keduanya. Agregat halus adalah mineral yang pada prinsipnya lewat saringan 2,36 mm dan tertahan pada saringan 75 mm atau saringan no.200.

Fungsi utama agregat halus adalah mendukung stabilitas dan mengurangi deformasi permanen dari campuran melalui ikatan (*interlocking*) dan gesekan antar partikel. Berkenaan dengan hal ini, sifat-sifat khas yang diperlukan dari agregat adalah sudut permukaan kekasaran permukaan, bersih dan bukan bahan organik. Dalam konstruksi *Hot Rolled Sheet (HRS)* komposisi agregat halus merupakan bagian yang terbesar sehingga sangat mempengaruhi kinerja pada saat masa konstruksi maupun pada masa pelayanan.

**Tabel 3.4 Persyaratan dan Sifat-sifat Teknis Agregat Halus**

No	Pengujian	Standar	Syarat
1	<i>Sand equivalent</i>	SNI 03-4428 : 1997	Min 60%
2	Berat jenis semu	SNI 3423 : 2008	< 3%
3	Peresapan terhadap air	SNI 03-6877 : 2002	> 2,5 gr/cc

Sumber : Bina Marga (2010)

## 3. Bahan pengisi (*filler*)

*Filler* adalah material yang lolos saringan no.200 (0,075 mm) dan termasuk kapur hidrat, abu arang, portland semen dan abu batu. *Filler* dapat berfungsi

untuk mengurangi kepekaan terhadap temperatur serta mengurangi jumlah rongga udara dalam campuran, namun demikian jumlah *filler* harus dibatasi pada suatu batas yang menguntungkan. Terlampaui tinggi kadar *filler* maka cenderung menyebabkan campuran menjadi getas dan akibatnya akan mudah retak akibat beban lalu lintas. Pada sisi lain kadar *filler* yang terlampaui rendah menyebabkan campuran menjadi lembek pada temperatur yang relatif tinggi. Jumlah *filler* ideal antara 0,6 sampai 1,2, yaitu perbandingan prosentase *filler* dengan prosentase kadar aspal dalam campuran atau lebih dikenal dengan istilah *Dust Proportion*. *Filler* berperan dalam campuran aspal dengan 2 macam cara, yaitu :

- a. *Filler* sebagai modifikasi dari gradasi pasir yang menimbulkan kepadatan campuran dengan lebih banyak titik kontak antara butiran partikel, hal ini akan mengurangi jumlah aspal yang akan mengisi rongga-rongga yang tersisa didalam campuran.
- b. Cara yang baik untuk mempengaruhi kinerja *filler* dengan mempertimbangkan proporsi yang menguntungkan dari komposisi agregat halus, *filler* dan aspal di dalam mortar, selanjutnya sifat-sifat mortar ini tergantung pada sifat asli dari pasir, jumlah takaran dalam campuran aspal serta *viskositas* pasta atau bahan pengikat yang digunakan.

### 3.4 Gradasi

Gradasi adalah susunan butir sesuai ukurannya. Ukuran butir agregat dapat diperoleh melalui pemeriksaan analisis saringan. Analisis saringan dapat dilakukan secara basah dan kering (saringan basah atau saringan kering). Gradasi agregat dinyatakan dalam presentase lolos, atau presentase tertahan, yang dihitung berdasarkan berat agregat.

Campuran aspal porus menggunakan gradasi seragam (*open graded*), sehingga campuran aspal porus disebut juga *open graded asphalt*. Gradasi seragam terdiri dari agregat kasar yang banyak dan hanya mengandung sedikit agregat halus, sehingga terdapat banyak rongga antar agregat. Campuran beraspal yang dibuat dengan gradasi ini bersifat porus atau memiliki permeabilitas yang tinggi, stabilitas yang rendah dan memiliki berat isi yang kecil. Persyaratan gradasi agregat pada campuran aspal porus seperti yang ditentukan oleh spesifikasi *Australian Asphalt Pavement Association* 2004 dapat dilihat pada Tabel 3.5 berikut.

**Tabel 3.5 Gradasi Agregat Campuran Aspal Porus AAPA (2004)**

Ukuran Ayakan (mm)	% Berat yang Lolos	
	Ag. Maks. 10 mm	Ag. Maks. 14 mm
19,00	100	100
12,70	100	85 – 100
9,53	85 – 100	45 – 70
4,76	20 – 45	10 – 25
2,38	10 – 20	7 – 15
1,19	6 – 14	6 – 12
0,595	5 – 10	5 – 10
0,297	4 – 8	4 – 8
0,149	3 – 7	3 – 7
0,074	2 – 5	2 – 5
Total	100	100
Kadar Aspal	5,0 – 6,5	4,5 – 6,0

Sumber: *Australian Asphalt Pavement Association* (2004) dalam Zuliensyah (2015)

### 3.5 Limbah Ban Karet

Meningkatnya jumlah kendaraan bermotor saat ini mengakibatkan jumlah limbah ban karet semakin banyak, karena kendaraan baik mobil atau motor mengganti ban dalam jangka waktu 2 hingga 3 tahun sekali. Ban yang sudah tidak digunakan lagi dapat diolah kembali menjadi barang lain yang bermanfaat. Salah satunya dengan diolah menjadi serbuk karet, pengolahannya dilakukan dengan cara dicacah atau di giling.

Pada penelitian ini memanfaatkan ban bekas dalam bentuk serbuk untuk di kadikan bahan tambah (*additif*) dalam campuran perkerasan aspal. Karet padat yang



digunakan merupakan karet yang biasa dipakai sebagai ban luar bekas yang berbentuk potongan-potongan ban luar bekas. Limbah ban karet lapisan ini kemungkinan dapat dipergunakan sebagai bahan tambahan aspal panas, karena sifatnya sama seperti karet alam. Karena lapisan karet ini berbentuk padat (Darunifah, 2007).

### **3.6 Air laut**

Laut merupakan wilayah yang paling luas di permukaan bumi, dengan luas mencapai 70% dari seluruh permukaan bumi dan memiliki sifat korosif yang sangat agresif. Secara umum derajat keasaman air laut pada umumnya berkisar antara 8,2 sampai dengan 8,4 dimana mengandung air sebanyak 96,5% sedangkan material terlarut dalam bentuk molekul ion sebanyak 3,5%. Material yang terlarut tersebut 89% terdiri dari garam Chlor sedangkan 11% terdiri dari unsur-unsur lainnya.

Dalam dunia konstruksi perkerasan jalan, sifat agresifitas lingkungan laut juga memberi pengaruh yang buruk terhadap konstruksi perkerasan dimana faktor penyebab dari kerusakan jalan khususnya pada jalan yang berada pada daerah pantai selain dari adanya masalah teknis dalam perencanaan maupun pelaksanaan juga akibat adanya pengaruh dari genangan air laut. Luapan air laut baik itu akibat banjir maupun akibat gelombang yang tinggi karena pengaruh angin kencang yang terjadi pada siang hari mengakibatkan banyak air laut yang menggenangi jalan baik itu dalam waktu beberapa saat maupun dalam jangka waktu yang cukup lama.

### **3.7 Karakteristik *Marshall Test***

Pengujian *Marshall* dimaksudkan untuk mendapatkan kinerja dari aspal porus. Pengujian *Marshall* adalah pemeriksaan stabilitas dan kelelahan (*flow*), serta analisis kepadatan dan pori dari campuran padat yang terbentuk. Adapun beberapa parameter *Marshall Test* antara lain : stabilitas (*stability*), kelelahan (*flow*), *MQ* (*Marshall Quotient*), *VITM* (*Void in the Total Mix*), *VFWA* (*Void Filler With Asphaly*), *VMA* (*Void in Mineral Agregat*), dan kepadatan (*density*). Ketentuan atau spesifikasi dari campuran aspal porus *AAPA* dapat dilihat pada Tabel 3.4 sebagai berikut.

### 3.7.1 Stabilitas (*stability*)

Stabilitas merupakan kemampuan perkerasan untuk menerima beban samapi terjadi kelelahan plastis. Naiknya stabilitas bertambah dengan kebutuhan akan stabilitas sebanding dengan fungsi jalan, dan beban lalu lintas yang akan dilayani. Jalan yang melayani volume lalu lintas tinggi.

Nilai stabilitas didapatkan dari pembacaan arloji stabilitas pada *Marshall Test*. Nilai stabilitas yang dapat dihitung dengan Persamaan 3.1 berikut.

$$q = p \times s \times 0,4536 \quad (3.1)$$

dengan :

$q$  = stabilitas (kg),

$p$  = pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat,

$s$  = koreksi tebal benda uji, dan

0,4536 = konversi satuan dari *lb* ke kg.

### 3.7.2 Kelelahan (*flow*)

Kelelahan dinyatakan dalam mm atau 0,01 inch. Kelelahan adalah besarnya deformasi vertikal yang terjadi mulai awal pembebanan sampai kondisi stabilitas menurun. Kelelahan meyakinkan besarnya penurunan (deformasi benda uji) campuran dengan angka kelelahan tinggi serta stabilitas rendah diatas batas maksimum akan cenderung bersifat plastis. Tetapi bila campuran dengan angka kelelahan rendah dan stabilitas tinggi di bawah batas optimum akan cenderung bersifat getas dan mudah retak bila ada pembebanan.

### 3.7.3 *Marshall Quotient* (MQ)

*Marshall Quotient* adalah hasil bagi antara nilai stabilitas dengan nilai kelelahan (*flow*) dan digunakan sebagai pendekatan terhadap tingkat kekakuan campuran. Nilai *MQ* dapat dihitung dengan Persamaan 3.2 berikut.

$$MQ = \frac{q}{r} \quad (3.2)$$

dengan :

$MQ$  = nilai *Marshall Quotient*,

$q$  = nilai stabilitas (kg), dan  
 $r$  = nilai *flow* (mm).

#### 3.7.4 Void in the mix (VITM)

VITM adalah persentase rongga udara dalam campuran yang telah dipadatkan. Nilai VITM semakin tinggi menunjukkan semakin besarnya rongga udara dalam campuran sehingga campuran bersifat porus. Nilai VITM dapat dihitung dengan Persamaan 3.3 dan 3.4 berikut.

$$n = 100 - (100 - \frac{g}{h}) \quad (3.3)$$

$$h = 100 - \left[ \frac{100}{\left( \frac{\% \text{ Agregat}}{BJ \text{ Agregat}} + \frac{\% \text{ Aspal}}{BJ \text{ Aspal}} \right)} \right] \quad (3.4)$$

dengan :

$n$  = nilai VITM,

$g$  = berat isi sampel (gr/cc), dan

$h$  = berat jenis maksimum teoritis campuran.

#### 3.7.5 Void in mineral aggregate (VMA)

VMA adalah rongga udara yang ada di antara butir-butir agregat dalam campuran agregat aspal yang sudah dipadatkan termasuk ruang yang terisi aspal dan dinyatakan dalam persen terhadap volume campuran agregat aspal. VMA akan meningkat jika selimut aspal lebih tebal, atau agregat yang digunakan bergradasi terbuka. Nilai VMA dapat diperoleh dari Persamaan 3.5 dan 3.6 berikut.

$$l = 100 - j \quad (3.5)$$

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

dengan :

$l$  = nilai VMA (%),

$b$  = presentase aspal terhadap campuran (%), dan

$g$  = berat isi sampel (gr/cc).

### 3.7.6 Void Filled With Asphalt (VFWA)

VFWA adalah presentase rongga terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan. VFWA adalah bagian dari VMA yang terisi oleh aspal, tidak termasuk didalamnya aspal yang terobsesi oleh masing-masing butir agregat. Dengan demikian aspal yang mengisi VFWA adalah aspal yang berfungsi untuk menyelimuti butir-butir agregat didalam beton aspal padat, atau dengan kata lain VFWA inilah yang merupakan presentase volume beton aspal padat yang menjadi film atau selimut aspal. Nilai VFWA dapat diperoleh dari Persamaan 3.7 sampai 3.11 berikut.

1. Presentase aspal terhadap campuran

$$h = \frac{a}{100+a} \times 100 \quad (3.7)$$

dengan :

a = persentase aspal terhadap batuan, dan

b = persentase aspal terhadap campuran.

2. Presentase aspal terhadap agregat

$$m = 100 \times \frac{i}{l} \quad (3.8)$$

$$i = \frac{b \times g}{BJ \text{ Aspal}} \quad (3.9)$$

$$l = 100 - j \quad (3.10)$$

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

dengan :

m = VFWA (%),

g = berat isi sampel (gr/cc), dan

b = persentase aspal terhadap campuran.

### 3.7.7 Kepadatan (Density)

Banyaknya aspal yang menyelimuti permukaan setiap butir agregat dinyatakan dengan kadar aspal efektif. Semakin tinggi kadar aspal efektif maka semakin tebal selimut aspal pada masing-masing butir agregat. Tebal selimut aspal

ini sangat ditentukan oleh luas permukaan seluruh butir-butir agregat pembentuk aspal.

*Density* menunjukkan besarnya kepadatan suatu campuran yang telah dipadatkan. Semakin besar nilai *density*, maka kerapatannya semakin baik. *Density* dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain: gradasi bahan, jumlah pemadatan, temperatur pemadatan, dan kadar aspal. Nilai kepadatan / *density* dapat diperoleh dari Persamaan 3.12 dan 3.13 berikut.

$$g = \frac{c}{f} \quad (3.12)$$

$$f = d - e \quad (3.13)$$

dengan:

$g$  = nilai *density* (gr/cc),

$c$  = berat benda uji sebelum direndam (gr),

$d$  = berat benda uji dalam keadaan jenuh / ssd (gr),

$e$  = berat dalam air (gr), dan

$f$  = volume / isi (cm<sup>3</sup>).

### 3.8 Permeabilitas

Permeabilitas merupakan tingkat derajat kerapatan konstruksi pada campuran aspal untuk dapat ditembus oleh zat cair. Permeabilitas aspal ini sangat penting untuk konstruksi dan kekuatan serta lamanya campuran aspal dapat bertahan. Semakin kecil permeabilitas aspal, maka akan semakin sedikit air yang dapat masuk ke dalam konstruksi aspal, sehingga aspal memiliki keawetan lebih panjang. Pengujian permeabilitas ini merujuk pada hukum permeabilitas dengan Persamaan 3.14 berikut.

$$K = \frac{V \cdot L \cdot \gamma_{air}}{P \cdot A \cdot T} \quad (3.14)$$

dengan:

$K$  = koefisien permeabilitas air (cm/dtk),

$V$  = volume rembesan (cm<sup>3</sup>),

$\gamma_{air}$  = berat jenis air (dyne/cm<sup>3</sup>)

$L$  = tinggi sampel (cm),

- A = luas penampang sampel (cm<sup>2</sup>),  
 T = lama waktu rembesan (dtk), dan

### 3.9 Asphalt Flow Down (AFD)

Untuk mengetahui kadar aspal maksimum yang dapat tercampur homogen dengan agregat tanpa terjadinya pemisahan aspal, hal ini penting dilakukan agar selama pengangkutan dari *Asphalt Mixing Plant (AMP)* ke lokasi penghamparan tidak terjadi pemisahan aspal maka dilakukan uji *asphalt flow down (AFD)*. Besarnya nilai *AFD* disyaratkan lebih kecil dari 0,3%, untuk menentukan nilai *AFD* digunakan uji pengaliran *asphalt flow down* seperti Persamaan 3.15 berikut.

$$AFD = \frac{(m_3 - m_1)}{(m_2 - m_1)} \times 100\% \quad (3.15)$$

dengan:

*AFD* = nilai *asphalt flow down* (%),

m<sub>1</sub> = berat cetakan berupa nampan (gr),

m<sub>2</sub> = berat cetakan beserta campuran beraspal (gr), dan

m<sub>3</sub> = berat cetakan beserta campuran aspal yang melekat pada aluminium foil (gr).

### 3.10 Indirect Tensile Strength (ITS)

Indikator utama yang dilakukan untuk mengetahui kekuatan suatu material pada campuran aspal adalah dengan menggunakan alat *Marshall*. Tetapi di lapangan, pada saat beton aspal menerima beban kendaraan yang melintas di atasnya, beton aspal akan mendapatkan gaya tekan pada bagian atas dan akan mendapat gaya tarik pada bagian bawahnya. Untuk itu, kemampuan material dalam menerima gaya tarik perlu diketahui, dalam hal ini dapat menggunakan alat *Indirect Tensile Strength* atau biasa disebut *ITS*. Dengan mengetahui kolerasi antara nilai *Marshall* dan *Indirect Tensile Strength* dapat diketahui apakah material yang mempunyai kemampuan memikul gaya tekan besar juga mempunyai kemampuan memikul gaya tarik besar juga.

*Indirect Tensile Strength Test* adalah suatu metode untuk mengetahui nilai gaya tarik dari campuran aspal beton. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui indikasi akan terjadinya retak di lapangan. Pengujian hampir sama dengan pengujian *Marshall*. *Indirect Tensile Strength Test* dilakukan dengan cara cara membebani sebuah sampel silinder dengan sebuah beban (dial) diletakkan di atasnya yang bekerja sejajar dan sepanjang bidang vertikal. Pembebanan ini menghasilkan kuat tarik yang relatif merata sepanjang diameter bidang vertikal, yang mana akan menyebabkan silinder akan mengalami kerusakan yaitu terjadinya keretakan sepanjang diameter vertikal (Kennedy, 1997).

Dalam Kennedy (1997) alasan – alasan utama kemudahan dalam pengujian *indirect tensile strength* yaitu sebagai berikut.

1. Pengujian ini relatif sederhana
2. Tipe sampel dan peralatan yang digunakan sama dengan sampel dan peralatan untuk pengujiannya.
3. Kerusakan dipengaruhi oleh kondisi permukaan.

Nilai *ITS* dapat dihitung dengan Persamaan 3.16 berikut.

$$ITS = \frac{P_{runtu\text{h}}}{h} \times A_o \quad (3.16)$$

dengan:

*ITS* = kuat tarik tidak langsung (kg/cm<sup>2</sup>),

*Pruntu\text{h}* = beban puncak (kg),

*h* = tinggi sampel (cm), dan

*Ao* = konstanta (tabel *Ao* terlampir pada lampiran).

### 3.11 Pengujian *Cantabro*

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan ketahanan benda uji terhadap keausan dengan menggunakan mesin *Los Angeles*. Nilai *cantabro loss* dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.17 berikut.

$$L = \frac{M_o - M_i}{M_o} \times 100\% \quad (3.17)$$

dengan:

$M_o$  = Berat sebelum diabrasi (gr),

$M_i$  = Berat setelah diabrasi (gr), dan

$L$  = Persentase kehilangan berat (%).

### 3.12 Pengujian *Immersion Test*

*Immersion Test* bertujuan untuk mengetahui perubahan karakteristik dari campuran akibat pengaruh air, suhu, dan cuaca. Pengujian ini dilakukan dengan cara benda uji direndam dalam *waterbath* pada suhu 60° C selama 30 menit (stabilitas standar) dan direndam pada suhu 60° C selama 24 jam (stabilitas rendaman).

*Index or Retained Sterngth (IRS)* adalah nilai stabilitas *Marshall* sisa untuk mengukur daya tahan terhadap pengerusakan oleh air. Dari nilai stabilitas yang di dapat dari kedua pengujian perendaman, kemudian dihitung nilai *Index or Retained Sterngth (IRS)* menggunakan Persamaan 3.18 berikut.

$$\text{Index of Retained Strength} = \frac{S_2}{S_1} \times 100 \quad (3.18)$$

dengan:

$S_1$  = rata – rata nilai stabilitas *Marshall* setelah perendaman selama 30 menit (kg),  
dan

$S_2$  = rata – rata nilai stabilitas *Marshall* setelah perendaman selama 24 jam (kg).

### 3.13 Analisis Statistik

Statistik adalah ilmu yang mempelajari bagaimana merencanakan, mengumpulkan, menganalisis, menginterpretasi, dan mempresentasikan data.

Pada penelitian ini, digunakan Analisis statistik anova yang berguna untuk mengetahui perbedaan rata-rata masing-masing kategori yang signifikan. ANOVA digunakan untuk membandingkan rata-rata dari beberapa populasi yang diwakili oleh beberapa kelompok sampel secara bersama, sehingga hipotesis matematikanya adalah sebagai berikut.



$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$  , tidak terdapat perbedaan signifikan antara rata-rata hitung dari n kelompok (3.19)

$H_1$  : salah satu dari  $\mu$  tidak sama, ada perbedaan yang signifikan antara rata-rata hitung dari n (3.20)

Bunyi hipotesis sebagaimana yang disebutkan di atas bersifat fleksibel karena tidak menyebutkan secara pasti  $\mu$  mana yang berbeda dengan lainnya. Hal ini berarti bahwa  $\mu$  mana yang tidak sama bukan merupakan masalah.

Penarikan kesimpulan dengan statistik Anova satu arah dapat dilakukan dengan cara berikut.

1. Membandingkan antara nilai t-hitung dengan nilai t-tabel  
 Besarnya nilai  $\alpha$  yang sering digunakan dalam penelitian adalah 5% atau 0,05.  
 Bandingkan nilai t-hitung dengan t-tabel yang telah diperoleh.  
 Jika nilai F-hitung  $>$  F-tabel ; maka  $H_0$  ditolak.  
 Jika nilai f-hitung  $<$  F-tabel ; maka  $H_0$  diterima.
2. Menggunakan nilai signifikan atau *P-Value*  
 Jika nilai signifikan atau *P-Value*  $>$  0,05; maka  $H_0$  diterima.  
 Jika nilai signifikan atau *P-Value*  $<$  0,05; maka  $H_0$  ditolak.
3. Keputusan.
4. Pasca *Annova* (jika ada).
5. Kesimpulan.

Analisis sesudah anova atau pasca ANOVA (*post hoc*) dilakukan jika hipotesis nol ( $H_0$ ) ditolak. Namun jika hipotesis nol diterima maka analisis sesudah anova tidak perlu dilakukan, karena tujuan analisis sesudah anova adalah untuk mencari kelompok mana yang berbeda. Hal ini ditunjukkan oleh F hitung yang menunjukkan adanya perbedaan. Kalau F hitung menunjukkan tidak ada perbedaan tentu analisis sesudah anova tidak perlu dilakukan. (Hartono, 2004)