

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 Aspal Beton**

Aspal beton adalah jenis perkerasan jalan yang terdiri dari agregat dan aspal, dengan atau tanpa bahan tambah (*additive*) yang dicampur dengan suhu tertentu. Campuran aspal beton memiliki sifat stabilitas, durabilitas, fleksibilitas, tahan terhadap geser, tahan terhadap kelelahan, kedap air dan mudah dilaksanakan.

Menurut Sukirman (2003) aspal beton dapat dibedakan berdasarkan suhu pencampuran dan fungsinya. Berdasarkan temperatur ketika mencampur dan memadatkan campuran, aspal beton dapat dibedakan menjadi tiga macam yaitu aspal beton campuran panas (*hotmix*), aspal beton campuran sedang (*warm mix*) dan aspal beton campuran dingin (*cold mix*). Kemudian berdasarkan fungsinya, aspal beton dapat dibedakan menjadi aspal beton untuk lapisan aus (*wearing course*), aspal beton untuk lapisan pondasi (*binder course*) dan aspal beton untuk pembentuk dan perata lapisan aspal beton yang sudah lama.

Menurut Bina Marga (2010) jenis aspal beton campuran panas (*hotmix*) dapat dibedakan sebagai berikut.

1. Lapis tipis aspal pasir (Latasir), adalah aspal beton untuk jalan dengan lalu lintas ringan. Lapisan ini khusus mempunyai ketahanan alur (*rutting*) rendah, oleh karena itu tidak diperkenankan digunakan untuk daerah berlalu lintas berat atau daerah tanjakan.
2. Lapis tipis aspal beton (Lataston), adalah aspal beton bergradasi senjang. Lataston biasa disebut dengan *HRS (Hot Rolled Sheet)*. Karakteristik aspal beton yang terpenting pada campuran ini adalah durabilitas dan fleksibilitas.
3. Lapis aspal beton (Laston), adalah aspal beton bergradasi menerus yang umum digunakan untuk jalan dengan beban lalu lintas berat. Laston dikenal dengan nama *AC (Asphalt Concrete)*. Karakteristik aspal beton yang terpenting pada campuran ini adalah stabilitas.

Pada penelitian ini akan meninjau campuran aspal beton dengan jenis lataston pada lapis aus (*Hot Rolled Sheet-Wearing Course*).

### 3.2 Penyusun Campuran Perkerasan *Hot Rolled Sheet – Wearing Course*

Lataston (lapis tipis aspal beton) dikenal dengan nama *hot rolled sheet* (*HRS*) merupakan jenis aspal beton campuran panas yang memiliki gradasi senjang. Lataston terdiri dari dua jenis campuran yaitu *HRS Pondasi* (*HRS-Base*) dan *HRS Lapis Aus* (*HRS-Wearing Course*) dan ukuran maksimum agregat masing-masing campuran adalah 19 mm (Bina Marga, 2010). Menurut Bina Marga (2010) ada dua kunci utama dalam merancang campuran agar sesuai spesifikasi untuk mendapatkan hasil yang memuaskan yaitu sebagai berikut.

#### 1. Gradasi yang benar-benar senjang

Agar diperoleh gradasi yang benar-benar senjang, maka selalu dilakukan pencampuran pasir halus dengan agregat pecah mesin.

#### 2. Sisa rongga udara pada kepadatan membal (*refusal density*) harus memenuhi ketentuan yang ditunjukkan dalam spesifikasi.

### 3.3.1 Agregat

Agregat merupakan sekumpulan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lainnya, baik berupa hasil alam atau buatan. Agregat yang dipakai dalam campuran lataston lapis aus harus memenuhi persyaratan yang tercantum pada tabel di bawah ini yang mencakup persyaratan agregat.

Agregat yang digunakan harus memenuhi persyaratan seperti tercantum dalam Tabel 3.1, Tabel 3.2 dan Tabel 3.3.

**Tabel 3.1 Persyaratan Pemeriksaan Agregat Kasar**

| No | Pengujian                                | Standar          | Syarat (%) |
|----|--|------------------|------------|
| 1  | Kekekalan bentuk terhadap natrium sulfat | SNI 3407:2008    | Maks. 12   |
| 2  | Keausan dengan mesin <i>Los Angeles</i>  | SNI 2417:2008    | Maks. 30   |
| 3  | Kelekatan agregat terhadap aspal         | SNI 2439:2011    | Min. 95    |
| 4  | Material lolos ayakan no.200             | SNI 03-4142-1996 | Maks. 2    |

**Lanjutan Tabel 3.1 Persyaratan Pemeriksaan Agregat Kasar**

| No | Pengujian                  | Standar                        | Syarat (%) |
|----|----------------------------|--------------------------------|------------|
| 5  | Partikel pipih dan lonjong | ASTM D4791<br>Perbandingan 1:5 | Maks. 10%  |

Sumber: Direktorat Jendral Bina Marga (2010)

**Tabel 3.2 Persyaratan Pemeriksaan Agregat Halus**

| No | Pengujian  | Satuan | Standar               | Syarat   |
|----|--|--------|-----------------------|----------|
| 1  | Nilai setara pasir   | %      | SNI 03-4428-1997      | Min. 60  |
| 2  | Angularitas dengan uji kadar rongga                        | -      | SNI 03-6877-2002      | Min. 45  |
| 3  | Gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat | %      | SNI 03-4141-1996      | Maks. 1  |
| 4  | Agregat lolos ayakan no.200                                | %      | SNI ASTM<br>C117:2012 | Maks. 10 |

Sumber: Direktorat Jendral Bina Marga (2010)

**Tabel 3.3 Gradasi Agregat Gabungan untuk Campuran Aspal**

| Ukuran Ayakan (mm) | % Berat yang Lolos |        |                      |        |
|--------------------|--------------------|--------|----------------------|--------|
|                    | Lataston (HRS)     |        |                      |        |
|                    | Gradasi Senjang    |        | Gradasi Semi Senjang |        |
|                    | WC                 | Base   | WC                   | Base   |
| 37,5               | -                  | -      | -                    | -      |
| 25                 | -                  | -      | -                    | -      |
| 19                 | 100                | 100    | 100                  | 100    |
| 12,5               | 90-100             | 90-100 | 87-100               | 90-100 |
| 9,5                | 75-85              | 65-90  | 55-88                | 55-70  |
| 4,75               | -                  | -      | -                    | -      |
| 2,36               | 50-72              | 35-55  | 50-62                | 32-44  |
| 1,18               | -                  | -      | -                    | -      |
| 0,6                | 35-60              | 15-35  | 20-45                | 15-35  |
| 0,3                | -                  | -      | 15-35                | 5-35   |
| 0,15               | -                  | -      | -                    | -      |
| 0,075              | 6-10               | 2-9    | 6-10                 | 4-8    |

Sumber: Direktorat Jendral Bina Marga (2010)

### 3.3.2 Aspal

Aspal merupakan material berwarna hitam atau coklat tua yang berbentuk padat, apabila dipanaskan pada suhu tertentu aspal menjadi lunak/cair sehingga dapat membungkus partikel agregat, namun jika suhu diturunkan aspal akan mengeras dan mengikat agregat pada tempatnya (sifat termoplastis). Pada penelitian ini menggunakan aspal penetrasi 60/70 dengan persyaratan dapat dilihat pada Tabel 3.4.

**Tabel 3.4 Pengujian dan Persyaratan Aspal Keras**

| No | Pengujian                                    | Standar          | Syarat  |
|----|--|------------------|---------|
| 1  | Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)                 | SNI 06-2456-1991 | 60 - 70 |
| 2  | Titik Lembek (°C)                            | SNI 2434:2011    | ≥ 48    |
| 3  | Daktilitas pada 25°C, (cm)                   | SNI 2432:2011    | ≥ 100   |
| 4  | Titik Nyala (°C)                             | SNI 2433:2011    | ≥ 232   |
| 5  | Berat Jenis                                  | SNI 2441:2011    | ≥ 1,0   |
| 6  | Berat yang Hilang (%)                        | SNI 06-2441-1991 | ≤ 0,8   |
| 7  | Kelarutan dalam <i>Trichloroethylene</i> (%) | ASSHTO T44-03    | ≥ 99    |

Sumber: Direktorat Jendral Bina Marga (2010)

Kadar aspal optimum dapat ditentukan salah satunya dengan cara *Marshall* terhadap benda uji dengan jumlah tumbukan yang disesuaikan dengan klasifikasi lalu lintas. Berikut persyaratan untuk menentukan kadar aspal optimum terlihat pada Tabel 3.5

**Tabel 3.5 Persyaratan Campuran Lataston**

| Sifat-sifat Campuran       |      | Lataston  |              |
|----------------------------|------|-----------|--------------|
|                            |      | Lapis Aus |              |
|                            |      | Senjang   | Semi Senjang |
| Kadar aspal efektif (%)    | Min  | 5,9       | 5,9          |
| Penyerapan aspal (%)       | Maks | 1,7       |              |
| Jumlah tumbukan per bidang |      | 75        |              |
| Rongga dalam campuran (%)  | Min  | 4,0       |              |
|                            | Maks | 6,0       |              |

**Lanjutan Tabel 3.5 Persyaratan Campuran Lataston**

| Sifat-sifat Campuran   |     | Lataston  |              |
|--|-----|-----------|--------------|
|  |     | Lapis Aus |              |
|  |     | Senjang   | Semi Senjang |
| Rongga dalam agregat (VMA) (%)   | Min | 18        |              |
| Rongga terisi aspal (%)  | Min | 68        |              |
| Stabilitas <i>Marshall</i> (kg)  | Min | 800       |              |
| Pelelehan (mm)   | Min | 3         |              |
| <i>Marshall Quotient</i> (kg/mm)   | Min | 250       |              |
| Stabilitas <i>Marshall</i> sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C | Min | 90        |              |

Sumber: Direktorat Jendral Bina Marga (2010)

### 3.3.3 *Filler*

Bahan pengisi (*filler*) berfungsi sebagai pengisi rongga udara pada material sehingga memperkaku lapisan aspal. Agregat ini merupakan material yang lolos ayakan no.200 (0,074 mm). Bahan yang sering digunakan sebagai *filler* adalah semen, *fly ash*, abu sekam, debu batu kapur dan semen *Portland* atau bahan lainnya yang mampu mengisi bagian-bagian kosong dari susunan aspal beton tersebut.

### 3.3.4 Serat *Polypropylene*

Serat *Polypropylene* berasal dari monomer  $C_3H_6$  merupakan hidrokarbon murni yang merupakan bahan dasar yang umum digunakan dalam memproduksi bahan – bahan yang terbuat dari plastik. Pertama kali *fiber* digunakan dalam industri tekstil karena harganya murah dan dapat menghasilkan produk yang berkualitas. Material ini berbentuk filamen-filamen yang ketika dicampurkan dalam adukan beton untaian itu akan terurai (Arde, 2005).

Menurut Dina (1999) beberapa keuntungan penggunaan serat *Polypropylene* dalam campuran aspal beton adalah sebagai berikut:

1. Daktalitas, berhubungan dengan kemampuan dalam menyerap energi,
2. Ketahanan terhadap beban kejut (*Impact Resistance*),
3. Kemampuan menahan tarik dan momen lentur,

4. Ketahanan terhadap kelelahan,
5. Ketahanan pengaruh susutan (*shrinkage*),
6. Ketahanan aus, dan
7. Ketahanan terhadap keretakan (*spalling*).

### 3.3 Pengujian *Marshall*

Alat uji *Marshall* merupakan alat tekan yang di lengkapi dengan proving ring yang berkapasitas 22,5 KN atau 5000 lbs. Proving ring dilengkapi dengan arloji pengukur yang berguna untuk mengukur stabilitas campuran. Disamping itu terdapat arloji kelelahan (*flow meter*) untuk mengukur kelelahan plastis, karena prinsip dasar metode *Marshall* adalah pemeriksaan stabilitas dan kelelahan (*flow*), serta analisis kepadatan dan pori dari campuran padat yang terbentuk.

Rancangan campuran berdasarkan metode *Marshall* ditemukan oleh Bruce Marshall, dan telah distandarisasi oleh *ASTM* ataupun *AASHTO* melalui beberapa modifikasi, yaitu *ASTM D 1559-76*, atau *AASHTO T-245-90*. Secara garis besar, pengujian Marshall ini meliputi:

1. Persiapan benda uji,
2. Penentuan berat jenis bulk dari benda uji,
3. Pemeriksaan nilai stabilitas dan *flow*, dan
4. Perhitungan sifat volumetrik benda uji.

### 3.4 Perhitungan Paramater *Marshall*

Adapun dasar perhitungan yang menjadi acuan dalam penganalisan data yaitu mengacu pada SNI 06-2489-1991 dan *The Asphalt Institute* sebagai berikut.

#### 3.4.1 Berat Jenis Aspal

Berat jenis aspal adalah perbandingan antara berat aspal dan berat air suling dengan isi yang sama pada suhu tertentu. Berat jenis aspal dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.1.

$$BJ = \frac{(C-A)}{(B-A)-(D-C)} \quad (3.1)$$

dengan:

- A = Berat piknometer kosong,  
 B = Berat piknometer dan air,  
 C = Berat piknometer dan benda uji, dan  
 D = Berat piknometer, benda uji dan air.

### 3.4.2 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat

Agregat total terdiri atas fraksi-fraksi agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi (*filler*) yang masing-masing mempunyai berat jenis yang berbeda, baik berat jenis kering dan berat jenis semu. Penyerapan terhadap air dan berat jenis efektifnya juga berbeda antara agregat kasar dan agregat halus.

#### 1. Agregat Kasar

- a. Berat jenis kering

$$S_d = \frac{A}{(B-C)} \quad (3.2)$$

- b. Berat jenis semu

$$S_a = \frac{A}{(A-C)} \quad (3.3)$$

- c. Penyerapan air

$$S_w = \left[ \frac{B-A}{A} \times 100\% \right] \quad (3.4)$$

- d. Berat jenis efektif

$$BJ \text{ efektif} = \frac{S_a + S_d}{2} \quad (3.5)$$

dengan:

- $S_d$  = Berat jenis kering,  
 $S_a$  = Berat jenis semu,  
 $S_w$  = Penyerapan air,  
 A = Berat benda uji kering oven,  
 B = Berat benda uji jenuh kering permukaan, dan  
 C = Berat benda uji dalam air.

## 2. Agregat Halus

### a. Berat jenis kering

$$S_d = \frac{B_k}{(B+SSD-B_t)} \quad (3.6)$$

### b. Berat jenis semu

$$S_a = \frac{B_k}{(B+B_k-B_t)} \quad (3.7)$$

### c. Penyerapan air

$$S_w = \left[ \frac{SSD-B_k}{B_k} \times 100\% \right] \quad (3.8)$$

### d. Berat jenis efektif

$$BJ \text{ efektif} = \frac{S_a+S_d}{2} \quad (3.9)$$

dengan:

$S_d$  = Berat jenis kering,

$S_a$  = Berat jenis semu,

$S_w$  = Penyerapan air,

$B_k$  = Berat pasir kering,

$B$  = Berat piknometer + air,

$B_t$  = Berat piknometer + pasir + air, dan

$SSD$  = Berat pasir kering permukaan.

### 3.4.3 Rongga dalam Agregat (VMA)

Rongga antar mineral agregat (VMA) adalah ruang rongga diantara partikel agregat pada suatu perkerasan, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak terhadap volume aspal yang diserap agregat). VMA akan meningkat jika selimut aspal lebih tebal atau agregat yang digunakan bergradasi terbuka.

VMA dapat dihitung dengan Persamaan 3.10.

$$VMA = 100 - \frac{(100-\% \text{aspal}) \times \text{berat volume benda uji}}{BJ \text{ Agregat}} \quad (3.10)$$

dengan:

VMA = Rongga udara pada mineral agregat (%),

% Aspal = Kadar aspal terhadap campuran (%), dan

BJ Agregat = Berat jenis efektif.



### 3.4.4 Rongga dalam Campuran (*VITM*)

Rongga udara dalam campuran (*VITM*) dalam campuran perkerasan beraspal terdiri atas ruang udara diantara partikel agregat yang terselimuti aspal. *VITM* dapat dihitung dengan Persamaan 3.11.

$$VITM = 100 - \frac{100 \times \text{berat volume benda uji}}{BJ \text{ max teoritis}} \quad (3.11)$$

Berat jenis maksimum teoritis dapat dihitung dengan Persamaan 3.12.

$$BJ = \frac{100}{\frac{\% \text{ agregat}}{BJ \text{ agregat}} + \frac{\% \text{ aspal}}{BJ \text{ aspal}}} \quad (3.12)$$

dengan:

*VITM* = Rongga udara pada campuran setelah pemadatan (%), dan

BJ teoritis = Berat jenis campuran maksimum teoritis setelah pemadatan (gr/cc).

### 3.4.5 Rongga terisi aspal (*VFWA*)

Rongga terisi aspal atau *Voids Filled With Asphalt (VFWA)* adalah persen rongga yang terdapat diantara partikel agregat (*VMA*) yang terisi oleh aspal, tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat. *VFWA* dapat dihitung dengan Persamaan 3.13.

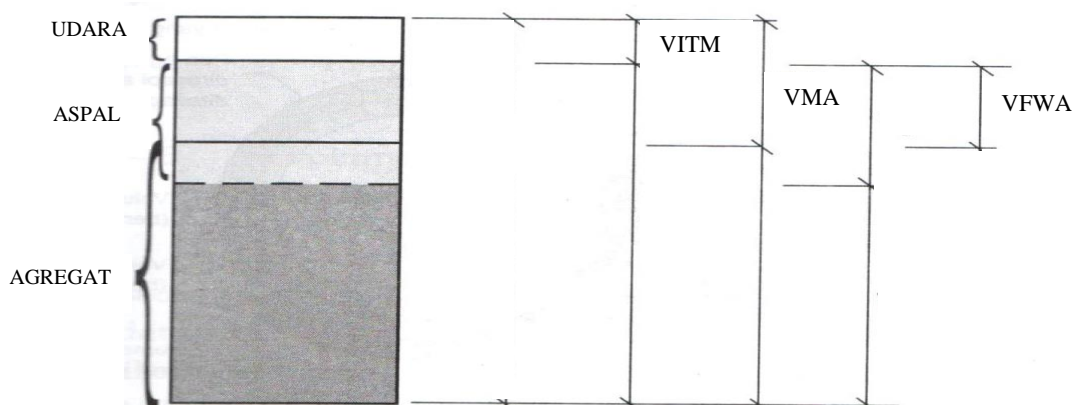
$$VFWA = 100 \times \frac{(VMA - VITM)}{VMA} \quad (3.13)$$

dengan:

*VFWA* = Rongga udara terisi aspal (%),

*VMA* = Rongga udara pada mineral agregat (%), dan

*VITM* = Rongga udara pada campuran setelah pemadatan (%).



**Gambar 3.2 Skematis Jenis Volume Beton Aspal**

(Sumber: Sukirman, 2003)

### 3.4.6 Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan suatu perkerasan untuk menahan deformasi atau perubahan yang disebabkan oleh beban lalu lintas. Nilai stabilitas didapat dari pembacaan arloji stabilitas yang kemudian dikalibrasi dengan *proving ring* dan dikoreksi tebal benda uji. Angka stabilitas dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.14.

$$S = p \times q \quad (3.14)$$

dengan:

S = Angka stabilitas,

p = Pembacaan arloji x kalibrasi alat, dan

q = Angka koreksi tebal benda uji.

### 3.4.7 Kelelahan (*flow*)

Nilai *flow* ditunjukkan oleh jarum arloji pembacaan *flow* pada alat *Marshall*. Untuk arloji pembacaan *flow*, nilai yang didapat sudah dalam satuan mm, sehingga tidak perlu dikonversi lebih lanjut.

### 3.4.8 *Marshall Quotient*

*Marshall Quotient* adalah perbandingan antara stabilitas dengan kelelahan plastis (*flow*) yang digunakan sebagai pendekatan terhadap tingkatan kekakuan campuran. Campuran dengan stabilitas tinggi dan kelelahan plastis yang rendah akan menghasilkan nilai *MQ* yang tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa campuran tersebut kaku, sehingga perkerasan mudah mengalami perubahan bentuk jika mengalami beban lalu lintas. Sebaliknya, campuran dengan stabilitas yang rendah dengan kelelahan plastis tinggi akan menghasilkan *MQ* rendah, sehingga cenderung plastis dan tidak stabil. *Marshall Quotient* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.15.

$$MQ = \frac{MS}{MF} \quad (3.15)$$

dengan:

*MQ* = *Marshall Quotient* (kg/mm),

MS = *Marshall Stability* (kg), dan

MF = *Flow Marshall* (mm).

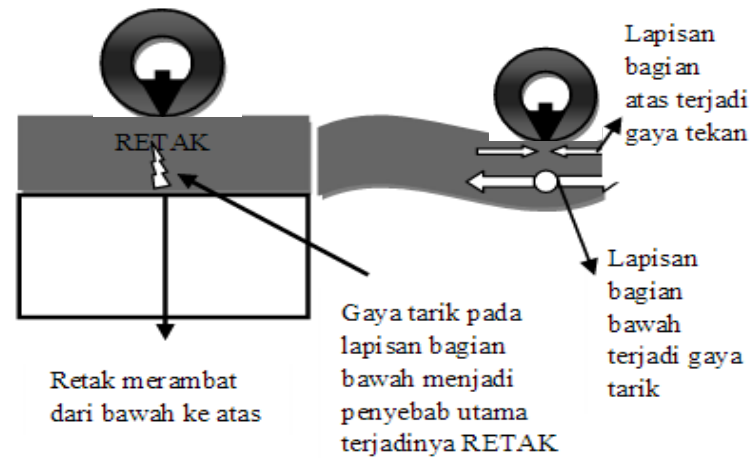
### 3.5 *Indirect Tensile Strength (ITS) Test*

Kuat tarik tidak langsung (*Indirect Tensile Strength*) adalah suatu metode untuk mengetahui nilai gaya tarik dari campuran aspal beton. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui indikasi akan terjadinya retak di lapangan. Pengujian ini hampir sama dengan pengujian *Marshall*, yang membedakan hanya pada cincin penguji yang menggunakan pelat berbentuk cekung dengan lebar 72,7 mm pada bagian penekan *Marshall*.

Gaya tarik terkadang digunakan untuk mengevaluasi potensi retakan (*fatigue*) pada campuran aspal beton. Sifat uji ini adalah kegagalan gaya tarik yang berguna untuk memperkirakan potensial retakan. Campuran penyusun lapisan perkerasan yang baik dapat menahan beban maksimum, sehingga dapat mencegah terjadinya retakan.

Retak yang disebabkan oleh pengulangan beban menyebabkan adanya gaya tarik yang dialami campuran beton aspal. Berbeda dengan beban tekan yang secara empiris dapat diperoleh dengan pengujian *Marshall* secara langsung. Besarnya beban tarik tidak dapat dilakukan pengujian secara langsung dengan *Marshall*, namun metode yang paling sesuai untuk mengetahui gaya tarik dari campuran aspal adalah dengan menggunakan metode *Indirect Tensile Strength Test* di laboratorium (Sunarjono, 2012).

Pengujian kuat tarik tidak langsung (*ITS*) ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan material dalam menerima gaya tarik. Dikatakan tidak langsung karena tidak diuji dengan pembebanan tarik secara langsung. Tetapi dihitung dari pembebanan maksimum dimana dilakukan pembebanan tekan yang dilakukan secara terus menerus dengan laju konstan sampai mencapai beban maksimum. Menurut Sunarjono dkk. (2012) kerusakan pada perkerasan jalan akibat beban berulang kendaraan terjadi secara bertahap atau setahap demi setahap. Saat suatu perkerasan jalan menerima beban lalu lintas di atasnya, maka material lapisan permukaan bagian atas mendapatkan gaya tekan sedangkan material bagian bawah mendapat gaya tarik.

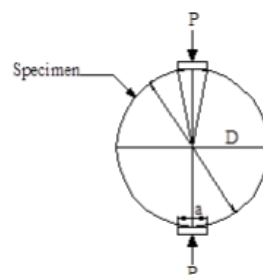


**Gambar 3.3 Mekanisme Terjadinya Gaya Tarik dan Kerusakan Retak**

(Sumber: ASTM D 4123, 1989)

Beban roda kendaraan yang berhenti atau bergerak di atas struktur perkerasan seperti ditunjukkan oleh Gambar 3.3 di atas menimbulkan gaya tekan ke bawah sehingga lapisan akan terjadi lendutan. Jika lapisan melendut, maka lapisan bagian atas terjadi gaya tekan dan sebaliknya lapisan bagian bawah terjadi gaya tarik. Akibat gaya tarik yang terjadi pada lapisan bagian bawah akan mengakibatkan retak, bila lapisan cukup tebal ( $> 20\text{cm}$ ) retak terjadi dari atas merambat ke bawah, dan bila lapisan tidak tebal ( $< 20\text{cm}$ ) retak terjadi dari bawah merambat ke atas.

Beban yang diberikan pada uji kuat tarik tidak langsung ini berupa strip (*Loading Strip*) dari bahan baja selebar 12,7 mm (0,5 in) dengan lanju 51 mm/menit (2 in/menit). Pembebanan dilakukan dengan menggunakan alat penekan *Marshall* (ASTM D 4123, 1989). Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 3.4 berikut.



**Gambar 3.4 Uji Kuat Tarik Tidak Langsung**

(Sumber: ASTM D 4123, 1989)

Menurut *AASHTO* T 283-89 nilai kuat tarik tidak langsung dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.16.

$$St = \frac{2 \times P_{\max}}{\pi \times d \times h} \quad (3.16)$$

dengan:

St = Nilai kuat tarik secara tidak langsung ( $\text{kg/cm}^2$ ),

Pmax = Beban maksimum (kg),

h = Tinggi benda uji (cm), dan

d = Diameter benda uji (cm).

### 3.6 Pengujian *Cantabro*

Pengujian *Cantabro* merupakan pengujian yang dimaksudkan untuk menentukan ketahanan lapis perkerasan terhadap keausan dengan menggunakan mesin *Los Angeles*. Menurut Mashuri dkk. (2014), pengujian ini dilakukan untuk mengetahui besarnya batas kekuatan hancur akibat pengaruh *impact* (tumbukan/pembebanan) beban roda lalu lintas pada lapis perkerasan. Repetisi beban lalu lintas pada lapis permukaan perkerasan dapat menyebabkan lapis perkerasan menjadi aus yang berdampak pada penurunan sifat daya tahan.

Prinsip dasar dari *Cantabro test* adalah membandingkan besarnya berat pada campuran beraspal pada kondisi sebelum dan sesudah dilakukan pengujian. Pengujian ini dilakukan dengan mesin abrasi *Los Angeles* tanpa menggunakan bola-bola baja dan sebanyak 300 kali putaran. Besarnya kehilangan berat pada *Cantabro test* dapat dihitung dengan Persamaan 3.17 sebagai berikut.

$$\text{Nilai keausan} = \frac{a-b}{a} \times 100\% \quad (3.17)$$

dengan:

a = Berat sebelum pengujian (gram), dan

b = Berat setelah pengujian (gram).

### **3.7 Analisis Statistik**

Dalam penelitian ini, data hasil pengujian akan dianalisis menggunakan statistik. Kegunaan statistik dalam penelitian bermacam-macam, yaitu sebagai alat untuk penentuan sampel, pengujian validitas dan reliabilitas instrumen, penyajian data dan analisis data. Analisis data lebih difokuskan untuk menjawab rumusan masalah dan menguji hipotesis penelitian yang diajukan (Sugiyono, 2010).

#### **3.7.1 Uji Hipotesis**

Pengertian hipotesis memiliki perbedaan menurut statistik dan penelitian. Dalam statistik, hipotesis dapat diartikan sebagai pernyataan statistik tentang parameter populasi. Sedangkan dalam penelitian, hipotesis diartikan sebagai jawaban sementara terhadap rumusan masalah penelitian. Rumusan masalah tersebut bisa berupa pernyataan tentang hubungan dua variabel atau lebih, perbandingan (komparasi) atau variabel mandiri (deskripsi) (Sugiyono, 2010).

Dalam penelitian terdapat dua macam hipotesis, yaitu hipotesis nol dan alternatif. Hipotesis nol menyatakan “tidak ada”, tetapi bukan tidak adanya perbedaan antara populasi dan data sampel, tetapi bisa berbentuk tidak adanya hubungan antara satu variabel dengan variabel lain, tidak adanya perbedaan antara satu variabel atau lebih pada populasi/sampel yang berbeda dan tidak adanya perbedaan antara yang diharapkan dengan kenyataan pada satu variabel atau lebih untuk populasi atau sampel yang sama. Selanjutnya hipotesis alternatif adalah lawannya hipotesis nol (Sugiyono, 2010).

Dalam penelitian ini dilandasi oleh suatu hipotesis. Ditolak atau diterimanya hipotesis ditentukan oleh hasil akhir penelitian. Jadi penelitian ini bisa saja sesuai dengan hipotesis atau berbeda dengan perkiraan hipotesis yang dibuat.

#### **3.7.2 T-Test**

Menurut Sugiyono (2010) *Test-t* atau *t-test* adalah statistik parametris yang digunakan untuk menguji hipotesis komparatif rata-rata dua sampel bila datanya berbentuk interval atau ratio. *T-test* dapat dibedakan menjadi tiga macam, yaitu sebagai berikut.

1. *T-Test* korelasi, merupakan teknik statistik untuk menguji hipotesis komparatif yang biasanya terdapat dalam desain penelitian eksperimen. Sebagai contoh dalam membuat perbandingan kemampuan kerja pegawai sebelum dilatih dengan yang sudah dilatih, membandingkan nilai *pretest* dan *posttest* dan membandingkan kelompok eksperimen dan kelompok kontrol (pegawai yang diberi latihan dan yang tidak).
2. *T-Test* independen, merupakan teknik statistik untuk menguji hipotesis komparatif dengan sampel yang tidak berkaitan satu sama lain. Misalnya akan membandingkan kemampuan kerja lulusan SMU dan SMK, membandingkan penghasilan petani dan nelayan dan sebagainya.

Rumusan *t-test* yang digunakan untuk menguji hipotesis komparatif dua sampel yang berkorelasi ditunjukkan dengan Persamaan 3.18 sebagai berikut.

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2} - 2r\left(\frac{s_1}{\sqrt{n_1}}\right)\left(\frac{s_2}{\sqrt{n_2}}\right)}} \quad (3.18)$$

dengan:

- $\bar{x}_1$  = Rata-rata sampel 1,
- $\bar{x}_2$  = Rata-rata sampel 2,
- $s_1$  = Simpangan baku sampel 1,
- $s_2$  = Simpangan baku sampel 2,
- $s_1^2$  = Varians sampel 1,
- $s_2^2$  = Varians sampel 2, dan
- $r$  = Korelasi antara dua sampel.

### 3.7.3 One Way ANOVA

*ANOVA* adalah singkatan dari *Analysis of Variance* yang merupakan sebuah analisis statistik yang digunakan untuk menguji hipotesis komparatif rata-rata k sampel bila datanya berbentuk interval atau ratio (Sugiyono, 2010). Menurut Sugiyono (2010) terdapat dua jenis analisis varians yaitu sebagai berikut.

1. Analisis varians klasifikasi tunggal (*Single Classification*), yang sering disebut *ANOVA* satu jalan digunakan untuk menguji hipotesis komparatif rata-rata k sampel bila pada setiap sampel hanya terdiri atas satu kategori.
2. Analisis varians klasifikasi ganda (*Multiple Classification*), digunakan untuk menguji hipotesis komparatif rata-rata k sampel bila pada setiap sampel terdiri atas dua atau lebih kategori.

Pada penelitian ini akan menggunakan analisis varians klasifikasi tunggal atau biasa disebut *One Way ANOVA*. Berikut langkah-langkah yang diperlukan untuk pengujian hipotesis dengan *one way ANOVA* yaitu sebagai berikut:

1. Menghitung jumlah kuadrat total ( $JK_{tot}$ ) dengan menggunakan Persamaan 3.19,

$$JK_{tot} = \sum X_{tot}^2 - \frac{(\sum X_{tot})^2}{N} \quad (3.19)$$

dengan:

$N$  = Jumlah seluruh anggota sampel

2. Menghitung jumlah kuadrat antar kelompok ( $JK_{ant}$ ) dengan menggunakan Persamaan 3.20,

$$JK_{ant} = \sum \frac{(\sum x_{kel})^2}{n_{kel}} - \frac{(\sum x_{tot})^2}{N} \quad (3.20)$$

3. Menghitung jumlah kuadrat dalam kelompok ( $JK_{dal}$ ) dengan menggunakan Persamaan 3.21,

$$JK_{dal} = JK_{tot} - JK_{ant} \quad (3.21)$$

4. Menghitung *Mean* kuadrat antar kelompok ( $MK_{ant}$ ) dengan menggunakan Persamaan 3.22,

$$MK_{ant} = \frac{JK_{ant}}{m-1} \quad (3.22)$$

5. Menghitung *Mean* kuadrat dalam kelompok ( $MK_{dal}$ ) dengan menggunakan Persamaan 3.23,

$$MK_{dal} = \frac{JK_{dal}}{N-m} \quad (3.23)$$

6. Menghitung *F* hitung ( $F_{hit}$ ) dengan menggunakan Persamaan 3.24,

$$F_{hit} = \frac{MK_{ant}}{MK_{dal}} \quad (3.24)$$



7. Membandingkan harga F hitung dengan F tabel dengan dk pembilang (m-1) dan dk penyebut (N-1). Harga F hasil perhitungan tersebut selanjutnya disebut F hitung (Fh), yang berdistribusi F dengan dk pembilang (m-1) dan dk penyebut (N-1) tertentu. Ketentuan pengujian hipotesis: bila harga F hitung lebih kecil atau sama dengan harga F tabel ( $F_h \leq F_t$ ) maka  $H_0$  diterima dan  $H_a$  ditolak, sebaliknya bila  $F_h > F_t$ , maka  $H_a$  diterima dan  $H_0$  ditolak, dan
8. Membuat kesimpulan pengujian hipotesis:  $H_0$  diterima atau  $H_0$  ditolak.

Untuk memudahkan perhitungan dalam rangka pengujian hipotesis dengan *one way ANOVA*, maka harga-harga yang telah diperoleh dari perhitungan di atas perlu disusun ke dalam tabel ringkasan *ANOVA* yang bisa dilihat pada Tabel 3.6 sebagai berikut.

**Tabel 3.6 Ringkasan ANOVA untuk Menguji Hipotesis k Sampel**

| SV  | dk  | Jumlah Kuadrat (JK)   | MK                            | Fh  | Ft      | Kep                    |
|-----|-----|---|-------------------------------|---|---------|------------------------|
| tot | N-1 | $\Sigma X_{\text{tot}}^2 - \frac{(\Sigma X_{\text{tot}})^2}{N}$                                 |                               | $\frac{MK_{\text{ant}}}{MK_{\text{dal}}}$ | Tabel F | Fh > Ft<br>Ha diterima |
| ant | m-1 | $\Sigma \frac{(\Sigma X_{\text{kel}})^2}{n_{\text{kel}}} - \frac{(\Sigma X_{\text{tot}})^2}{N}$ | $\frac{JK_{\text{ant}}}{m-1}$ |   |         |                        |
| dal | N-m | $JK_{\text{tot}} - JK_{\text{ant}}$   | $\frac{JK_{\text{dal}}}{N-m}$ |   |         |                        |

Sumber: Sugiyono (2010)