

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pengaruh Penambahan Limbah Plastik *PET* Pada Campuran Beton**

##### **Aspal**

Suhardi dkk. (2016) melakukan penelitian karakteristik Marshall pada campuran aspal dengan penambahan limbah botol plastik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan PET sebagai additive pada aspal terhadap karakteristik Marshall dengan gradasi AC-BC. Berdasarkan hasil analisis diperoleh nilai-nilai parameter-parameter Marshall, nilai kelompok benda uji I dan benda uji II untuk parameter Marshall memenuhi spesifikasi yang disyaratkan Bina Marga 2010 pada rentang kadar aspal 6,38 % sampai dengan 6,5%, dan nilai KAO yang didapatkan sebesar 6,44 %. Penelitian ini membuktikan bahwa dengan adanya penambahan variasi PET pada campuran AC-BC (Asphalt Concrete-Binder Course) berpengaruh terhadap karakteristik Marshall, semakin tinggi kadar penambahan PET maka nilai stabilitas akan meningkat tetapi untuk nilai kadar rongga dalam campuran semakin tinggi persentasenya.

Puspitasari dkk. (2018) melakukan penelitian pengaruh penambahan limbah botol plastik terhadap karakteristik Marshall pada campuran AC-BC. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan limbah botol plastik (PET) kepada campuran beton aspal dengan cara kering. Berdasarkan hasil penelitian penambahan limbah botol plastik dengan cara kering optimum didapat pada kadar 4% terhadap berat aspal, akan tetapi variasi limbah botol plastik yang disarankan yaitu 3% karena nilai karakteristik Marshall mengindikasikan bahwa campuran tanpa penambahan limbah botol plastik lebih baik dibandingkan yang sudah ditambah dengan botol plastik.

Nasution dkk. (2017) melakukan penelitian tentang pengaruh penambahan plastik PET terhadap karakteristik campuran laston AC-WC (Asphalt Concrete-Wearing Course). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan PET dengan kadar 2%, 2,5%, 3% dan 3,5% terhadap berat aspal dengan

menggunakan pencampuran basah dengan melakukan uji Marshall, dan Wheel Tracking Machine. Berdasarkan hasil analisis dan pengujian yang sudah dilakukan didapatkan kadar PET optimum yaitu pada kadar 2%. Penambahan PET menunjukkan bahwa stabilitas dan flow mengalami kenaikan dan nilai rongga mengalami penurunan dikarenakan plastik ikut mengisi rongga pada campuran.

## **2.2 Pengaruh Penggunaan Bahan Tambah Pada Campuran *Superpave***

Mentari (2018) melakukan penelitian pengaruh rendaman air laut terhadap penurunan kinerja campuran *Superpave* yang menggunakan limbah ban karet sebagai *additive*. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kelayakan parutan ban karet sebagai bahan tambah dan pengaruhnya pada rendaman pada campuran *Superpave* dengan melakukan uji *Marshall*, *IRS*, *ITS* dan Permeabilitas. Berdasarkan analisis hasil penelitian didapatkan penambahan limbah ban karet 10% tidak memberikan perubahan berat jenis dan karakteristik *Marshall* yang tidak signifikan. Nilai permeabilitas pada kadar ban karet 0%, 6%, 8% dan 10% mengalami kenaikan yang artinya campuran hampir kedap air. Dapat disimpulkan penambahan serbuk ban karet sebagai bahan tambah campuran Pen 60/70 baik dipakai hanya sampai 8% yang dimana benda uji tahan akan bentur dan retak tetapi jika penggunaan lebih, memungkinkan terjadinya patah karena tidak tahan terhadap deformasi.

## **2.3 Persamaan dan Perbedaan Antar Penelitian Terdahulu**

Persamaan dan perbedaan dengan penelitian terdahulu dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

**Tabel 2.1 Persamaan dan Perbedaan dengan Penelitian Terdahulu**

Aspek	Suhardi dkk (2016)	Puspitasari dkk (2018)	Mentari (2018)	Nasution dkk (2017)	Penulis
Judul	Studi karakteristik <i>Marshall</i> Pada Campuran Aspal dengan Penambahan Limbah Botol Plastik ( <i>PET</i> )	Pengaruh penambahan limbah botol plastik terhadap karakteristik <i>Marshall</i> pada campuran <i>AC-BC</i>	Pengaruh Rendaman Air Laut Terhadap Penurunan Kinerja Campuran <i>Superpave</i> Yang Menggunakan Limbah Ban Karet Sebagai Additive	Pengaruh penambahan plastik <i>PET</i> terhadap karakteristik campuran laston <i>AC-WC</i>	Analisis penggunaan limbah plastik ( <i>PET</i> ) sebagai bahan tambah terhadap karakteristik campuran <i>Superpave</i> dengan bahan ikat pen 60/70
Jenis Campuran	<i>AC - BC</i>	<i>AC-BC</i>	<i>Superpave</i>	<i>AC-WC</i>	<i>Superpave</i>
Bahan Tambah	<i>PET</i>	<i>PET</i>	Limbah Ban Karet	<i>PET</i>	<i>PET</i>
Metode Pencampuran	Kering	Kering	Basah	Basah	Bahan Tambah
Parameter	<i>Marshall</i>	<i>Marshall</i>	<i>Marshall, IRS, ITS, Cantabro</i> dan Permeabilitas	<i>Marshall</i> dan <i>Wheel Tracking Machine</i>	<i>Marshall, ITS, Permeabilitas</i> dan <i>Cantabro</i>
Hasil	Memenuhi spesifikasi yang disyaratkan Bina Marga 2010 pada rentang kadar aspal 6,38 % sampai dengan 6,5%, dan nilai KAO yang didapatkan sebesar 6,44 %.	Kadar <i>PET</i> optimum didapat pada kadar 4% akan tetapi campuran tanpa <i>PET</i> mengindikasikan campuran lebih baik dari pada campuran dengan tambahan <i>PET</i> .	Penambahan serbuk ban karet sebagai bahan tambah campuran aspal Pen 60/70 baik dipakai hanya sampai pada 8% penambahan dan mudah retak pada perendaman.	Kadar <i>PET</i> optimum yaitu pada kadar 2%. Penambahan <i>PET</i> menunjukkan bahwa stabilitas dan flow meningkat dan rongga campuran menurun.	

Sumber : Suhardi (2016), Puspitasari (2016), Mentari (2018), Nasution (2016)

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan oleh peneliti sebelumnya dengan menggunakan pencampuran kering menunjukkan dengan adanya penambahan PET stabilitas dan flow serta rongga dalam campuran mengalami peningkatan yaitu pada penelitian Suhardi (2016) dan Puspitasari (2018) tetapi berbeda dengan Nasution (2017) yang menunjukkan rongga dalam campuran yang menurun dengan menggunakan pencampuran basah. Perbedaan dengan penelitian terdahulu yaitu terletak pada pengujian yang dilakukan yaitu dengan adanya penambahan pengujian ITS untuk mengetahui nilai gaya Tarik campuran, pengujian Cantabro untuk mengetahui tingkat ketahanan benda uji terhadap keausan dan pengujian Permeabilitas untuk mengetahui tingkat porositas benda uji dan persamaanya terletak pada pengujian Marshall dan metode pencampuran yaitu pencampuran kering.



## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 Perkerasan Lentur Jalan**

Perkerasan lentur adalah lapisan lapisan yang diletakkan diatas tanah dasar yang telah dipadatkan yang berfungsi untuk menerima beban lalu lintas dan menyebarkannya ke lapisan dibawahnya. Perkerasan lentur menggunakan bahan campuran beraspal sebagai lapis permukaan serta bahan berbutir sebagai lapisan dibawahnya.

Sukirman (1999) membagi jenis perkerasan berdasarkan bahan pengikatnya menjadi 3 yaitu:

1. Kontruksi perkerasan lentur (*flexible pavement*), yaitu perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar.
2. Kontruksi perkerasan kaku (*rigid pavement*), yaitu perkerasan yang menggunakan semen (*portland cement*) sebagai bahan pengikat. Pelat beton dengan atau tanpa lapis pondasi bawah. Beban lalu lintas sebagian besar dipikul oleh pelat beton.
3. Kontruksi perkerasan komposit (*composit pavement*), yaitu perkerasan kaku yang dikombinasikan dengan perkerasan lentur dapat berupa perkerasan lentur diatas perkerasan kaku, atau perkerasan kaku diatas perkerasan lentur.

#### **3.2 Superior Performing Ashpalt Pavement (Superpave)**

*Superior Performing Ashpalt Pavement* adalah salah satu jenis kontruksi *hotmix* yang dikembangkan oleh peneliti *Strategic Highway Research Program* (*SHRP*) dalam upaya mengembangkan metode desain campuran yang didalamnya sudah mengakomodasi komponen perilaku lalu lintas, iklim, komposisi struktur perkerasan dan reliabilitas penggunaannya.

Campuran *Superpave* adalah campuran yang proses pencampurannya dilakukan pada suhu panas dengan komposisi tertentu yang mana agregatnya memiliki ciri

adanya titik kontrol. Adapun spesifikasi gradasi yang ditetapkan untuk *Superpave* pada SHRP A-408 1994 dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut.

**Tabel 3.1 Spesifikasi Gradasi Campuran *Superpave***

Saringan Standar (mm)	% Lolos Ukuran Nominal Maksimum				
	9,5 mm	12,5 mm	19 mm	25 mm	37,5 mm
50					100
37,5				100	90 - 100
25			100	90 - 100	Maks.90
19		100	90 - 100	Maks.90	
12,5	100	90 - 100	Maks.90		
9,5	90 - 100	Maks.90			
2,36	32 - 67	28 - 58	23 - 49	19 - 45	15 - 41
0,075	2 - 10	2 - 10	2 - 8	1 - 7	0 - 0,6

Sumber : *Strategic Highway Research Program A-407* (1994)

### 3.3 Bahan Penyusun Perkerasan Lentur

Bahan yang digunakan untuk membuat perkerasan lentur diantaranya yaitu agregat kasar, agregat halus, *filler* dan bahan tambahan (*additive*) sesuai dengan jenis bahan campuran yang digunakan. Adapun penjelasan dari tiap-tiap bahan tersebut dapat dilihat sebagai berikut :

#### 3.3.1 Agregat

Agregat/batuan didefinisikan secara umum sebagai formasi kulit bumi yang keras dan penyal (*solid*). *ASTM* (1974) dalam Sukirman (1999) mendefinisikan batuan sebagai suatu bahan yang terdiri dari mineral padat, berupa masa berukuran besar maupun berupa fragmen-fragmen.

Agregat merupakan komponen utama dari lapisan perkerasan jalan yaitu mengandung 90-95% agregat berdasarkan persentase berat atau 75 – 85% agregat berdasarkan persentase volume.

Berdasarkan besar partikelnya Sukirman (1999) membagi agregat menjadi 3 yaitu :

1. Agregat kasar, yaitu agregat yang memiliki ukuran lebih besar dari 4,75 mm menurut *ASTM* atau lebih besar dari 2 mm menurut *AASHTO*.

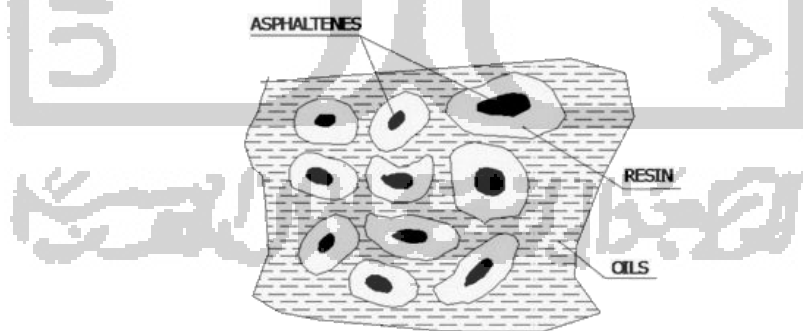
2. Agregat halus, yaitu agregat yang memiliki ukuran kurang dari 4,75 mm menurut ASTM atau lebih besar dari 0,75mm dan kurang dari 2mm menurut AASHTO.
3. Abu batu/mineral *filler*, yaitu agregat halus yang umumnya lolos saringan No.200

### 3.3.2 Aspal

Aspal didefinisikan sebagai material berwarna hitam atau coklat tua, pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat. Jika dipanaskan sampai suatu temperatur tertentu aspal dapat menjadi lunak/cair sehingga adapat membungkus partikel agregat pada waktu pembuatan aspal beton atau dapat masuk kedalam pori-pori yang ada pada penyemprotan/penyiraman pada perkerasan.

Sebagai salah satu material konstruksi perkerasan lentur, aspal merupakan salah satu komponen kecil, umumnya hanya 4 – 10% berdasarkan berat atau 10 – 15% berdasarkan volume, tetapi merupakan komponen yang relatif mahal.

Aspal merupakan unsur *hydrocarbon* yang sangat kompleks, sangat sukar untuk memisahkan molekul-molekul yang membentuk aspal tersebut. Komposisi aspal terdiri dari asphaltenes dan maltenes. *Asphaltenes* merupakan material berwarna hitam atau coklat tua yang tidak larut dalam *heptane*. *Maltenes* larut dalam *heptane*, merupakan cairan kental yang terdiri dari *resin* dan *oil*.



**Gambar 3.1 Ilustrasi Komposisi Aspal**

(Sumber : Sukirman, 1999)

Aspal yang digunakan untuk perkerasan lentur harus memiliki fungsi-fungsi sebagai berikut :

1. Bahan pengikat, sebagai bahan pengikat aspal harus memberikan ikatan yang kuat antara aspal dan agregat dan antara aspal itu sendiri.

2. Bahan pengisi, sebagai bahan pengisi aspal harus mampu mengisi rongga antara butir-butir agregat dan pori-pori yang ada dari agregat itu sendiri.

Adapun ketentuan-ketentuan untuk aspal keras dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut ini.

**Tabel 3.2 Ketentuan-ketentuan Aspal Keras**

No	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Tipe I Aspal Pen.60 - 70
1	Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI 06-2456-1991	60 - 70
2	Viskositas Dinamis 60°C (Pa.s)	SNI 06-6441-2000	160 - 240
3	Viskositas Kinematis 135°C (cSt)	SNI 06-6441-2000	≥ 300
4	Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥ 48
5	Daktilitas pada 25°C, (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100
6	Titik Nyala (°C)	SNI 2433:2011	≥ 232
7	Kelarutan dalam Trichloroethylene (%)	AASHTO T44-03	≥ 99
8	Berat Jenis	SNI 2441:2011	≥ 1,0
9	Stabilitas Penyimpanan: Perbedaan Titik Lembek (°C)	ASTM D 5976 part 6.1	-
10	Partikel yang lebih halus dari 150 micron (µm) (%)		

Sumber : Direktorat Jendral Bina Marga (2010)

### 3.3.3 Bahan Pengisi (*Filler*)

*Filler* adalah bahan campur butiran halus yang berfungsi sebagai pengisi pada campuran aspal untuk meningkatkan kepadatan. Adapun syarat – syarat untuk *filler* ialah sebagai berikut :

1. Bersifat non plastis
2. Memiliki susunan butiran serapat mungkin
3. Lolos saringan No.200

### 3.3.4 *Polyethylene Terephthalate (PET)*

*PET* adalah polimer sintesis termoplastik semi kristal yang memiliki umur yang panjang karena tahan terhadap biodegradasi atau sulit terurai oleh alam yang menyebabkan terjadinya penumpukan limbah *PET*.



Menurut Mujiarto (2005) dalam Suhardi dkk. (2016) menyatakan *Polyethylene Terephthalate* atau biasa kita kenal sebagai *PET* dengan rumus kimia ( $C_{10}H_8O_3$ ) dibuat dengan *glikol (EG)* dan *terephthalic acid (TPA)* atau *dimethyl ester* atau *asam perephthalat (DMT)*. *PET* memiliki daya serap uap air yang rendah, demikian juga daya serap terhadap air.

Penggunaan *PET* sangat luas antara lain untuk botol-botol air mineral, *soft drink*, kemasan sirup, saus dan minyak makan. Botol minuman plastik yang beredar di Indonesia dapat dikenali dengan simbol angka 1 pada bagian dasar botol. *PET* memiliki berat jenis 1,38 g/cm<sup>3</sup> (20°C), titik leleh 250° C, titik didih 350° C (terdekomposisi), modulus elastis 2800 – 3100 Mpa, dan kuat tarik 55 – 75 Mpa.

### 3.4 Karakteristik Campuran

Menurut Sukirman (2003) beton aspal harus memiliki beberapa karakteristik yaitu stabilitas, durabilitas, fleksibilitas, *fatigue resistance*, kekesatan permukaan, kedap air dan kemudahan pelaksanaan. Berikut penjelasan dari tiap-tiap karakteristik tersebut :

#### 3.4.1 Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan untuk menerima beban lalu lintas tanpa mengalami perubahan bentuk seperti alur, gelombang dan *bleeding*. Kebutuhan akan stabilitas sebanding dengan fungsi dan beban lalu lintas yang akan dilayani oleh jalan tersebut. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai stabilitas beton aspal yaitu :

- a. Gesekan internal, yang dapat berasal dari kekasaran permukaan dari butir-butir agregat, luas bidang kontak antar butir atau bentuk butir-butir agregat, luas bidang kontak antar butir atau bentuk butir, gradasi agregat, kepadatan campuran dan tebal film aspal. Kepadatan campuran menentukan pula tekanan kontak dan nilai stabilitas campuran.
- b. Kohesi, yaitu gaya ikat aspal yang berasal dari keuletannya, sehingga mampu menahan tekanan kontak antar butir agregat. Kemampuan kohesi terutama ditentukan dari penetrasi aspal, perubahan viskositas akibat temperatur, tingkat pembebanan, komposisi kimiawi aspal, efek dari waktu dan umur aspal.

### 3.4.2 Keawetan

Keawetan atau durabilitas adalah kemampuan beton aspal menerima repetisi beban lalu lintas seperti berat kendaraan dan gesekan antara roda kendaraan dengan permukaan jalan, serta menahan keausan akibat pengaruh cuaca dan iklim, seperti udara, air ataupun perubahan temperatur.

Keawetan beton aspal dipengaruhi oleh beberapa hal diantaranya yaitu.

1. Tebalnya film atau selimut aspal
2. Banyaknya pori dalam campuran
3. Kepadatan campuran
4. Kekedapan campuran terhadap air

Semakin tebal selimut aspal yang membungkus agregat maka akan semakin kedap pula campuran tersebut terhadap air, sehingga akan mampu menahan keausan dengan lebih baik. Tetapi selimut aspal yang tebal akan mengakibatkan tingginya resiko terjadinya *bleeding* atau keluarnya minyak dari campuran aspal yang akan menyebabkan jalan menjadi semakin licin.

Besarnya pori yang tersisa dalam campuran setelah pemadatan juga akan mengakibatkan durabilitas beton aspal menurun. Semakin banyak pori semakin tidak kedap air pula campuran beton aspal tersebut dan semakin banyak udara yang ada didalamnya, yang mengakibatkan selimut aspal teroksidasi dan menjadi getas dan menyebabkan durabilitasnya menurun.

### 3.4.3 Kelenturan

Kelenturan atau fleksibilitas adalah kemampuan beton aspal untuk menyesuaikan diri akibat penurunan dan pergerakan tanah dasar atau pondasi tanpa terjadi retak. Penurunan dapat terjadi akibat beban lalu lintas yang berulang-ulang, ataupun akibat berat sendiri tanah timbunan yang berada diatas tanah asli. Kelenturan dapat ditingkatkan dengan cara menggunakan agregat dengan gradasi terbuka dengan kadar campuran aspal yang lebih tinggi.

### 3.4.4 Ketahanan terhadap kelelahan

Ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue resistance*) adalah kemampuan beton aspal untuk menerima lendutan berulang akibat beban lalu lintas yang terjadi terus

menerus tanpa berakibat terjadinya kelelahan berupa retakan ataupun alur. Hal ini dapat dicapai jika digunakan kadar aspal yang tinggi.

#### 3.4.5 Kekesatan

Kekesatan (*skid resistance*) adalah kemampuan permukaan beton aspal untuk memberikan gaya gesek pada roda sehingga kendaraan tidak tergelincir atau mengalami slip. Untuk mendapatkan kekesatan jalan yang baik ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan seperti kekasaran butir-butir agregat, luas bidang kontak dan bentuk butir, gradasi agregat, kepadatan campuran dan tebal selimut aspal.

Ukuran maksimum butir agregat juga ikut menentukan kekesatan permukaannya, agregat yang digunakan tidak hanya harus memiliki permukaan yang kasar tetapi juga harus mempunyai ketahanan agar tidak mudah menjadi licin akibat beban lalu lintas yang berulang-ulang.

#### 3.4.6 Kedap air

Kedap air (*impermeabilitas*) adalah kemampuan beton aspal untuk tidak dapat dimasuki air dan udara kedalam lapisan beton aspal. Air dan udara dapat mempercepat terjadinya proses penuaan aspal dan pengelupasan selimut aspal dari permukaan agregat. Jumlah pori yang tersisa setelah beton aspal dipadatkan dapat menjadi indikator kedap air campuran.

#### 3.4.7 Mudah dilaksanakan

Kemudahan untuk dilaksanakan (*workability*) adalah kemampuan campuran beton aspal untuk mudah dihamparkan dan dipadatkan. Tingkat kemudahan dalam pelaksanaan, menentukan tingkat efisiensi pekerjaan. Faktor yang mempengaruhi *workability* adalah viskositas aspal, gradasi, kepekaan aspal terhadap perubahan temperatur serta kondisi agregat.

### 3.5 Karakteristik Pengujian Marshall

Uji *Marshall* dimaksudkan untuk mengetahui kinerja dari campuran. Adapun parameter dari uji *Marshall* diantaranya yaitu : stabilitas (*stability*), kelelahan (*flow*), *MQ* (*Marshall Quotient*), *VITM* (*Void in the Total Mix*), *VFWA* (*Void filled with Ashphalt*), *VMA* (*Void in the Mineral Agregat*) dan kepadatan (*Density*). Berikut adalah penjelasan dari karakteristik pengujian *Marshall* tersebut.

### 3.5.1 Stabilitas (*stability*)

Stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan untuk menerima beban lalu lintas tanpa mengalami perubahan bentuk seperti alur, gelombang dan *bleeding*. Kebutuhan akan stabilitas sebanding dengan fungsi dan beban lalu lintas yang akan dilayani oleh jalan tersebut.

Nilai stabilitas dapat diketahui dengan pembacaan arloji stabilitas pada pengujian *Marshall*. Nilai ini masih harus dikoreksi dengan kalibrasi alat dan ketebalan benda ujinya juga. Adapun rumus perhitungan nilai stabilitas dapat dilihat pada Persamaan 3.1 berikut ini.

$$qs = p \times q \times 0,4356 \quad (3.1)$$

dengan :

$qs$  = Stabilitas (kg)

$p$  = Pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat

$q$  = Angka koreksi tebal benda uji dan

0,4356 = Angka konversi lbs ke kg

### 3.5.2 Kelelehan (*flow*)

Kelelehan (*flow*) adalah angka yang menunjukkan besarnya penurunan vertikal pada benda uji, yang dinyatakan dalam mm atau 0,01". *Flow* dibutuhkan agar perkerasan mempunyai daerah mulur akibat pembebanan. Pada saat terjadi pembebanan campuran mulur/memanjang untuk mengikuti pembebanan agar perkerasan tidak retak.

### 3.5.3 *Marshall Quotient (MQ)*

Nilai *MQ* merupakan pendekatan terhadap kekakuan dan kelenturan dari suatu lapis perkerasan. Bila campuran mempunyai nilai *MQ* yang tinggi berarti campuran itu cenderung kaku dan memiliki nilai fleksibilitas yang rendah. Sebaliknya jika suatu campuran memiliki nilai *MQ* yang rendah berarti campuran memiliki fleksibilitas yang tinggi tapi cenderung kurang stabil. Adapun nilai *MQ* dapat diperoleh dari Persamaan 3.2 berikut ini.

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

dengan :

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

$qs$  = Stabilitas (kg)

$r$  = Nilai *flow* (mm)

#### 3.5.4 *Void in the Mix (VITM)*

*VITM* adalah volume pori dalam aspal padat atau persen rongga terhadap agregat yang dinyatakan dalam bilangan bulat. *VITM* merupakan indikator dari durabilitas dan kemungkinan *bleeding*. *VITM* dibutuhkan sebagai tempat bergesernya agregat akibat beban lalu lintas yang berulang atau tempat aspal yang melunak akibat perubahan temperatur. Adapun cara menghitung nilai *VITM* dapat dilihat pada persamaan berikut .

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

$$h = \frac{100}{\left[ \frac{\% agregat}{b.j agregat} + \frac{\% aspal}{b.j aspal} \right]} \quad (3.4)$$

dengan :

$g$  = berat volume benda uji / nilai density (gr/cc),

$h$  = berat jenis maksimum teoritis (gr/cc).

#### 3.5.5 *Void Filled With Asphalt (VFWA)*

*Void filled with asphalt* adalah volume pori beton aspal yang terisi oleh aspal setelah proses pemadatan. Nilai *VFWA* dipengaruhi oleh temperatur dan jumlah pemadatan yang dilakukan serta kadar aspal dan gradasi agregat. Semakin besar nilai *VFWA* maka semakin banyak rongga yang terisi oleh aspal sehingga kedapannya terhadap air dan udaranya tinggi, tetapi sebaliknya jika nilai *VFWA* rendah maka kedapannya terhadap air dan udara juga rendah.. Nilai *VFWA* dapat diperoleh dengan Persamaan 3.5 sampai Persamaan 3.8 berikut

$$m = 100 \times \frac{i}{l} \quad (3.5)$$

$$i = \frac{b \times g}{B_j \text{ Aspal}} \quad (3.6)$$

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

$$j = \left( \frac{(100-b) \times g}{B_j \text{ Agregat}} \right) \quad (3.8)$$

Keterangan :

m = nilai VFWA (*Void Filled With Asphalt*) (%)

g = berat isi sampel (gr/cc)

j = persentase aspal terhadap campuran

### 3.5.6 Voids In The Mineral Agregat (VMA)

*Voids in the mineral agregat* adalah banyaknya pori diantara butir-butir agregat di dalam beton aspal padat yang dinyatakan dalam persentase. *VMA* akan meningkat jika selimut aspal lebih tebal atau agregat yang digunakan menggunakan gradasi ternuka. Adapun nilai *VMA* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.7 berikut ini.

$$VMA = 100 - \frac{(100-B) \times G}{B_j \text{ agregat}} \quad (3.9)$$

dengan :

*VMA* = Rongga dalam mineral agregat

B = % aspal terhadap campuran

G = Berat isi campuran

### 3.5.7 Kepadatan (*Density*)

Kepadatan (*density*) adalah nilai berat volume untuk menunjukkan kepadatan dari campuran beton aspal. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai *density* adalah temperatur pemadatan, komposisi bahan penyusun, kadar *filler*, energi pemadat dan kadar aspal. Semakin tinggi nilai stabilitasnya maka semakin tinggi pula tingkat kepadatannya sampai pada kondisi maksimum. Adapun nilai *density* dapat diperoleh dengan persamaan berikut ini.

$$g = \frac{c}{f} \quad (3.10)$$

$$f = d - e \quad (3.11)$$

dengan :

$g$  = Nilai *density*

$c$  = Berat benda uji sebelum direndam (gr)

$d$  = Berat benda uji jenuh air (gr)

$e$  = Volume benda uji di dalam air (gr)

$f$  = Volume benda uji (cm<sup>3</sup>)

### 3.6 Indirect Tensile Strength (ITS)

*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 hampir sama dengan pengujian *Marshall*, yang membedakan hanyalah pada pengujian kuat tarik tak langsung tidak menggunakan cincin penguji namun menggunakan plat berbentuk cekung dengan lebar 12,5 mm pada bagian penekan *Marshall*. Pengukuran kekuatan tarik dihentikan apabila jarum pengukur pembebanan telah berbalik arah atau berlawanan dengan arah jarum jam.

Adapun untuk memperoleh nilai *indirect tensile strength* dapat dilihat pada Persamaan 3.13 berikut ini.

$$ITS = \frac{P_{\text{runtuh}}}{h} \times A_o \quad (3.12)$$

Keterangan :

ITS = *Indirect Tensile Strength* (N/mm<sup>2</sup>)

$P_{\text{runtuh}}$  = beban puncak (kg)

$h$  = tinggi sampel (cm)

$A_o$  = konstanta

### 3.7 Pengujian Permeabilitas

Permeabilitas adalah kemampuan media yang porous untuk mengalirkan fluida. Setiap material dengan ruang kosong diantaranya disebut porous, dan apabila ruang kosong itu saling berhubungan maka ia akan memiliki sifat permeabilitas. Material dengan ruang kosong yang lebih besar biasanya memiliki angka pori yang lebih besar pula. Oleh karena itu pengujian permeabilitas campuran aspal penting untuk dilakukan agar mampu menghasilkan perkerasan dengan ketahanan yang baik.

Adapun untuk memperoleh koefisien permeabilitas dapat digunakan Persamaan 3.11 berikut ini.

$$k = 2,3 \frac{aL}{At} \times \left( \log \frac{h_1}{h_2} \right) \quad (3.13)$$

dengan :

- k = Koefisien permeabilitas (cm/dtk)
- a = Luas potongan melintang tabung (cm<sup>2</sup>)
- A = Luas potongan specimen (cm<sup>2</sup>)
- t = Waktu turunya air dari h<sub>1</sub> ke h<sub>2</sub>
- h<sub>1</sub> = Tinggi batas atas air pada tabung (cm)
- h<sub>2</sub> = Tinggi batas bawah air pada tabung (cm)

### 3.8 Pengujian *Cantabro*

Pengujian *cantabro* bertujuan untuk menggambarkan tingkat ketahanan benda uji terhadap keausan dengan menggunakan mesin *Los Angeles*. Hal ini bertujuan untuk mengetahui ketahanan campuran aspal terhadap pengaruh beban lalu lintas yang berulang ulang yang akan menyebabkan perkerasan menjadi aus dan mengalami penurunan kekuatan. Pengujian ini menggunakan mesin *Los Angeles* tanpa menggunakan bola baja.

Adapun untuk mengetahui nilai pengujian *cantabro* dapat digunakan Persamaan 3.12 berikut ini.



$$L = \frac{M_0 - M_1}{M_0} \quad (3.14)$$

dengan :

L = Persentase kehilangan berat (%)

M<sub>0</sub> = Berat benda uji sebelum diabrasi (gr)

M<sub>1</sub> = Berat benda uji setelah di abrasi (gr)

### 3.9 Pengujian Anova

*Anova (Analysis of Varian)* adalah salah satu uji komparatif yang digunakan untuk menguji perbedaan *mean* (rata-rata) data lebih dari dua kelompok. Untuk melakukan uji *Anova*, harus dipenuhi beberapa asumsi diantaranya :

1. Sampel berasal dari kelompok yang independen,
2. *Varian* antar kelompok harus homogen,
3. Data masing-masing kelompok berdistribusi normal.

Prinsip pengujian *One Way Anova* adalah melakukan analisis variabilitas data menjadi dua sumber variasi yaitu variasi di dalam kelompok (*within*) dan variasi antar kelompok (*between*).

Hasil nilai asumsi homogenitas bila varian data sama, maka bisa disimpulkan nilai sig. dari uji *Anova* satu arah, dengan syarat bila nilai sig. > 0,05 maka hipotesis nol (H<sub>0</sub>) diterima, berarti tidak terdapat perbedaan yang signifikan, atau bila nilai sig. < 0,05 maka hipotesis nol (H<sub>0</sub>) ditolak atau hipotesisi alternative (H<sub>1</sub>) diterima, berarti terdapat perbedaan yang signifikan.

### 3.10 Pengujian T-test

Uji *Paired Sample T-test* adalah pengujian yang digunakan untuk membandingkan selisih dua mean dari dua sampel yang berpasangan dengan asumsi data berdistribusi normal. Sampel berpasangan berasal dari subjek yang sama, setiap variabel diambil saat situasi dan keadaan yang berbeda. Uji ini juga disebut Uji T. Uji *Paired Sample T-test* menunjukkan apakah sampel berpasangan mengalami perubahan yang bermakna. Hasil uji *Paired Sample T-test* ditentukan

oleh nilai signifikansinya. Nilai ini kemudian menentukan keputusan yang diambil dalam penelitian.

1. Nilai signifikansi (*2-tailed*)  $< 0.05$  menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara variabel awal dengan variabel akhir. Ini menunjukkan terdapat pengaruh yang bermakna terhadap perbedaan perlakuan yang diberikan pada masing-masing variabel.
2. Nilai signifikansi (*2-tailed*)  $> 0.05$  menunjukkan tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara variabel awal dengan variabel akhir. Ini menunjukkan tidak terdapat pengaruh yang bermakna terhadap perbedaan perlakuan yang diberikan pada masing-masing variable.

