

## **BAB II**

### **STUDI PUSTAKA**

#### **2.1 Definisi Aspal**

Bitumen adalah zat perekat material yang warna hitam atau gelap, memiliki bentuk padat atau semi padat, yang di dapat di alam ataupun sebagai hasil produksi. Bitumen bisa berupa aspal, tar, atau pitch. Aspal merupakan residu dari pengilangan minyak bumi (Falderika 2009).

Aspal atau bitumen adalah suatu cairan kental yang merupakan senyawa hidrokarbon dengan sedikit mengandung sulfur, oksigen, dan klor. Aspal sebagai bahan pengikat dalam perkerasan lentur mempunyai sifat viskoelastis. Aspal tampak padat pada suhu ruang padahal adalah cairan yang sangaaat kental. Aspal merupakan bahan yang sangat kompleks, dan secara kimia belum dikarakterisasi dengan baik. Kandungan utama aspal adalah senyawa karbon jenuh, dan tak jenuh, alifatik, dan aromatic yang mempunyai atom karbon sampai 150 per molekul. Atom-atom selain hidrogen, dan karbon yang juga menyusun aspal adalah nitrogen, oksigen, belerang, dan beberapa atom lain. Secara kuantitatif, biasanya 80% massa aspal adalah karbon, 10% hydrogen, 6% belerang, dan sisanya oksigen, dan nitrogen, serta sejumlah renik besi, nikel, dan vanadium. Senyawa-senyawa ini sering dikelaskan atas aspalten (yang massa molekulnya kecil), dan malten (yang massa molekulnya besar). Biasanya aspal mengandung 5 sampai 25% aspalten. Sebagian besar senyawa di aspal adalah senyawa polar (Wikipedia 2018).

## 2.2 Sifat campuran beraspal

Beberapa metode desain telah berevolusi untuk menghasilkan campuran beraspal yang sesuai untuk situasi tertentu. Agar memenuhi kriteria untuk kondisi lalu lintas tertentu maka campuran beraspal tersebut harus (Nono 2015):

- mampu menahan deformasi permanen;
- mampu menahan kelelahan retak;
- mudah dilaksanakan selama penghamparan, memungkinkan material dapat dipadatkan secara memuaskan dengan peralatan yang tersedia;
- kedap, untuk melindungi lapisan bawah struktur jalan dari air;
- tahan lama, tahan abrasi oleh lalu lintas dan efek dari udara dan air;
- berkontribusi pada kekuatan struktur perkerasan;
- mudah dipelihara, dan yang paling penting
- biaya efektif.

Selain di atas, tentu saja permukaan bahan juga harus:

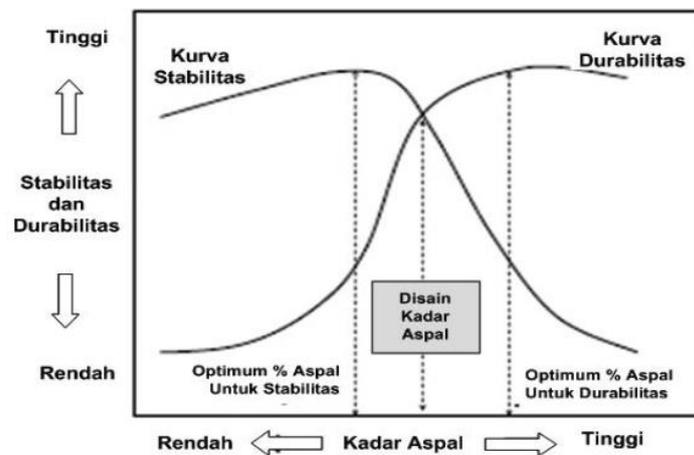
- tahan selip pada semua kondisi cuaca
- menghasilkan tingkat kebisingan yang rendah, dan
- memberikan kualitas permukaan yang nyaman.

Keruntuhan campuran beraspal berdasarkan SHRP A-410 (National Research Council 1994) terdiri atas deformasi plastis, retak lelah dan retak pada temperatur rendah dan menurut NAPA (1996) retak lelah dipengaruhi beberapa faktor, yaitu: struktur perkerasan, aspal, kadar aspal, VMA, karakteristik agregat pondasi (cemented material) dan karakteristik tanah dasar, sedangkan

rutting/deformasi plastis sebagai akibat “kekakuan aspal rendah, kadar aspal tinggi dan VIM rendah“ (fungsi dari gradasi dan kadar aspal).

Gradasi adalah sifat yang sangat penting dari campuran beraspal, karena mempengaruhi semua aspek campuran beraspal. Ketika proporsi agregat menjadi ukuran yang berbeda-beda, perencana dapat menentukan apa jenis tekstur permukaan perkerasan yang diinginkan (Nono 2015).

Spesifikasi gradasi untuk penentuan struktur agregat adalah menggunakan grafik dengan power 0,45. Hal ini dapat digunakan untuk menunjukkan stabilitas, ketahanan dan kemudahan pelaksanaan. Adapun untuk struktur agregat yang padat tidak memberi ruang/rongga untuk aspal (Nono 2015).



**Gambar 2. 1 Hubungan antara kadar aspal dengan stabilitas dan durabilitas campuran beraspal (Sumber : Jurnal Nono 2015)**

### 2.3 Plastik

Plastik adalah jenis makromolekul yang dibentuk dengan proses polimerisasi. Polimerisasi adalah proses dimana penggabungan beberapa molekul yang sederhana (monomer) melewati proses kimia menjadi molekul besar. Plastik adalah senyawa polimer yang unsur penyusunnya ialah karbon dan hidrogen. Untuk membuat sebuah plastik, Naphta merupakan salah satu bahan baku yang sering digunakan. Naphta adalah bahan yang di dapatkan hasil dari penyulingan minyak bumi atau gas alam. Sebagai sebuah gambaran, untuk membuat 1 kg plastik diperlukan 1,75 kg minyak bumi (Siregar 2019).

Plastik terbagi menjadi dua kelompok :

1. Thermoplastic adalah bahan plastik yang saat dipanaskan sampai dengan temperatur tertentu akan mencair dan bisa dibentuk kembali menjadi bentuk yang diinginkan.
2. Thermosetting adalah plastik yang saat telah dibuat dalam bentuk padat, tidak dapat dicairkan kembali dengan cara dipanaskan.

Dari sifat kedua kelompok diatas, Thermoplastic merupakan jenis yang memungkinkan untuk dapat di daur ulang. Jenis jenis plastik yang dapat di daur ulang memiliki kode kode berupa nomer untuk memudahkan mengidentifikasi dan penggunaannya. Terlihat pada **Gambar 2.2** dan **Tabel 2.1**.



**Gambar 2. 2 Nomor Kode Plastik (Sumber : Siregar 2019)**

**Tabel 2. 1 Jenis Plastik, Kode dan Penggunaannya (Sumber : Siregar 2019)**

No. Kode	Jenis Plastik	Penggunaan	Sifat
1	PET (polyethylene terephthalate)	botol kemasan air mineral, botol minyak goreng, jus, botol sambal, botol obat, dan botol kosmetik	Jernih, kuat, tahan pelarut, kedap gas dan air, melunak pada suhu 80 °C
2	HDPE (High-density Polyethylene)	botol obat, botol susu cair, jerigen pelumas, dan botol kosmetik	Keras hingga semi fleksibel, tahan terhadap bahan kimia dan kelembaban, permeable terhadap gas, permukaan berlilin (waxy), buram (opaque), mudah diwarnai, diproses dan dibentuk, melunak pada suhu 75 °C
3	PVC (Polyvinyl Chloride)	pipa selang air, pipa bangunan, mainan, taplak meja dari plastik, botol shampo, dan botol sambal.	Kuat, keras, bisa jernih, bentuk bisa diubah dengan pelarut, melunak pada suhu 80 °C
4	LDPE (Low-density Polyethylene)	kantong kresek, tutup plastik, plastik pembungkus daging beku, dan berbagai macam plastik tipis lainnya	Mudah diproses, kuat, fleksibel, kedap air, permukaan berlilin, tidak jernih tapi tembus cahaya, melunak pada suhu 70 °C

5	PP (Polypropylene atau Polypropene)	cup plastik, tutup botol dari plastik, mainan anak, dan margarine	Keras tapi fleksibel, kuat, permukaan berkilin, tidak jernih tapi tembus cahaya, tahan terhadap bahan kimia, panas dan minyak, melunak pada suhu 140 °C
6	PS (Polystyrene)	kotak CD, sendok dan garpu plastik, gelas plastik, atau tempat makanan dari styrofoam, dan tempat makan plastik transparan	Jernih seperti kaca, kaku, getas, buram, terpengaruh lemak dan pelarut, mudah dibentuk, melunak pada suhu 95°C
7	Other (O), jenis plastik lainnya selain dari no.1 hingga 6	botol susu bayi, plastik kemasan, gallon air minum, suku cadang mobil, alat-alat rumah tangga, komputer, alat-alat elektronik, sikat gigi, dan mainan lego	Keras, kuat, mudah diwarnai, bebas rasa dan bau, tahan terhadap pelarut dan noda, kurang tahan terhadap asam dan alkali

Pengetahuan sifat thermal dari berbagai jenis plastik sangat penting dalam proses pembuatan dan daur ulang plastik. Sifat-sifat thermal yang penting adalah titik lebur ( $T_m$ ), temperatur transisi ( $T_g$ ) dan temperatur dekomposisi. Temperatur transisi adalah temperatur di mana plastik mengalami perenggaan struktur sehingga terjadi perubahan dari kondisi kaku menjadi lebih fleksibel. Di atas titik lebur, plastik mengalami pembesaran volume sehingga molekul bergerak lebih bebas yang ditandai dengan peningkatan kelenturannya. Temperatur lebur adalah temperatur di mana plastik mulai melunak dan berubah menjadi cair. Temperatur

dekomposisi merupakan batasan dari proses pencairan. Jika suhu dinaikkan di atas temperatur lebur, plastik akan mudah mengalir dan struktur akan mengalami dekomposisi. Dekomposisi terjadi karena energi thermal melampaui energi yang mengikat rantai molekul. Secara umum polimer akan mengalami dekomposisi pada suhu di atas 1,5 kali dari temperatur transisinya (Siregar 2019). Data sifat termal yang penting pada proses daur ulang plastik bisa dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 2. 2 Data Temperatur Transisi Dan Temperatur Lebur Plastik  
(Sumber : Siregar 2019)**

Jenis Bahan	Tm (°C)	Tg (°C)	Temperatur kerja maks. (°C)
PP	168	5	80
HDPE	134	-110	82
LDPE	330	-115	260
PA	260	50	100
PET	250	70	100
ABS		110	85
PS		90	70
PMMA		100	85
PC		150	246
PVC		90	71

Pada penelitian ini menggunakan bahan aditif plastik, yaitu plastik jenis Polypropylene (PP).



**Gambar 2. 3 Plastik PP yang akan digunakan (Sumber : Google “Plastik PP” 2020)**

Plastik PP memiliki titik leleh 165°C. Plastik PP memiliki sifat Keras tapi fleksibel, kuat, permukaan berkilin, tidak jernih tapi tembus cahaya, tahan terhadap bahan kimia, panas dan minyak, melunak pada suhu 140 °C. Karena sifatnya tersebut plastik PP dapat dijadikan cup plastik, tutup botol dari plastik, mainan

anak, dan margarine. Penelitian ini difokuskan menggunakan limbah cup plastik yang merupakan salah satu jenis dari PP. Limbah plastik yang digunakan harus hasil olahan yang telah dipilah, dicacah dan dicuci. Cacahan limbah plastik yang digunakan harus kering, bersih dan terbebas dari bahan organik atau bahan yang tidak dikehendaki. Berikut merupakan ketentuan limbah plastik hasil cacahan yang dapat dilihat pada **Tabel 2.3**.

**Tabel 2. 3 Ketentuan Limbah Plastik Hasil Cacahan (Sumber : Spesifikasi Khusus Bina Marga 2017)**

Pengujian	Persyaratan
Ukuran butir lolos saringan 3/8 inch (9,5 mm)%	100
Ukuran butir lolos saringan No. 4 (4,75 mm)%	90
Ketebalan (mm)	Maks. 0,075
Kadar Air (%)	Maks. 5
Titik leleh (°C)	100 - 120

Menurut (Siregar 2019) pencampuran plastik untuk menaikkan kinerja campuran beraspal ada dua cara yaitu cara basah dan cara kering :

- a. Cara basah (wet process) yaitu suatu cara pencampuran dimana plastik dimasukkan ke dalam aspal panas dan diaduk dengan kecepatan tinggi sampai menjadi homogen. Cara ini membutuhkan tambahan dana yang besar karena membutuhkan bahan bakar dan mixer berkecepatan tinggi sehingga aspal modifikasi yang dihasilkan harganya cukup besar bedanya dibandingkan dengan aspal konvensional.
- b. Cara kering (dry process) yaitu suatu cara pencampuran dimana plastik dimasukkan ke dalam agregat yang dipanaskan pada temperatur campuran, kemudian ditambahkan aspal panas. Cara ini lebih murah, dikatakan lebih

murah karena tidak perlu ada aspal yang harus dikeluarkan dari tangki aspal di AMP, apabila tangki aspal akan digunakan untuk keperluan pencampuran aspal dengan aspal konvensional. Selain lebih murah, cara kering ini juga lebih mudah karena hanya dengan memasukkan plastik dalam agregat panas, tanpa membutuhkan peralatan lain untuk mencampur (mixer). Cara kering memiliki kekurangan, yaitu harus benar-benar dapat dipertanggungjawabkan kehomogenan dan keseragaman kadar plastik yang dimasukkan/dicampurkan.

#### **2.4 Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)**

Bahan perkerasan aspal yang ada biasanya dihilangkan selama pelapisan ulang, rehabilitasi, atau operasi rekonstruksi. Setelah dilepas dan diproses, material perkerasan menjadi RAP, yang berisi pengikat dan agregat aspal yang berharga (Publication no. FHWA-HRT-11-021, 2011).

Teknologi reklamasi aspal (RAP) adalah bahan yang dihasilkan dari proses goresan aspal yang mengandung aspal dan agregat. Bahan ini diproduksi ketika lapisan aspal dihilangkan untuk rekonstruksi, mengembalikan lapisan permukaan atau membongkar trotoar karena pemasangan utilitas (Bethary, Subagio, Rahman, & Suaryana 2019). Penggunaan metode daur ulang untuk mengatasi permasalahan perbaikan jalan atau rekonstruksi jalan dapat menghemat penggunaan aspal dan agregat, serta tidak merusak geometri jalan akibat penumpukan lapisan perkerasan yang terus menerus (Nono 2015).

RAP bisa meningkatkan kekuatan perkerasan sebesar 15,85% pada kadar 40%. Material yang digunakan untuk metode daur ulang adalah bahan kupasan

aspal dan bila diperlukan ditambahkan aspal dan agregat baru. Bahan kupasan aspal ini mengandung aspal dan agregat lama.

Untuk mencapai hasil yang memadai pada umumnya aspal dan agregat lama perlu diperbaharui baik sifat-sifatnya maupun gradasinya (Novita 2011).

Aspal RAP secara signifikan telah mengalami penuaan pada saat diproduksi, pelayanan terhadap beban kendaraan, dan pengaruh lingkungan saat menjadilapisan/struktur perkerasan. Hal ini dikarenakan reologi aspal telah teroksidasi dan mengalami kelelahan, sehingga aspal pada RAP menjadi mengeras. Walaupun RAP telah kehilangan beberapa sifatnya karena terjadi oksidasi, volatilisasi ataupun pengaruh dari cuaca selama masa layannya, tapi kehilangan sifat-sifat ini dilapisan perkerasan dimana rongga akan lebih kecil dari 5%. Di beberapa kasus pada kedalaman yang lebih besar dari  $\frac{1}{4}$  inchi dari permukaan lapis material aspal akan masih memiliki komposisi yang sama seperti saat pertama dihamparkan (Nono 2015).

Campuran yang mengandung RAP menunjukkan pengurangan yang lebih sedikit dalam kehilangan stabilitas dan kehilangan kekuatan tarik tidak langsung, meningkatkan ketahanan pengupasan, dan menunjukkan kinerja creep yang lebih baik daripada campuran yang dibuat sepenuhnya dari agregat segar dan aspal murni. Studi ini mengungkapkan bahwa campuran yang mengandung RAP mungkin memiliki umur kelelahan yang lebih pendek karena aspal tua yang ada dalam campuran melalui penggunaan RAP. Oleh karena itu, lebih disukai untuk menggunakan campuran yang mengandung RAP di daerah-daerah, di mana kelelahan bukanlah jenis tekanan utama yang diharapkan (Al-Rousan, Asi, I, Al-Hattamleh, & Al-Qablan 2008).

Penggunaan RAP dalam campuran beraspal agar bercampur efektif dengan bahan pengikat baru, beberapa Negara di Eropa telah membatasi kekerasan bitumen RAP yang dapat digunakan, yaitu nilai penetrasi dan titik leleh seperti disajikan pada **Tabel 2.4**

**Tabel 2.4 Batasan Sifat Aspal RAP Hasil Pemulihan Yang Direkomendasikan Untuk Daur Ulang (Sumber: Nono 2015)**

Negara	Sifat aspal RAP	
	Penetrasi (dmm)	Titik leleh (°C)
Prancis	>5	<77
Belgia	>10	-
Inggris	>15	-
Jerman, Irlandia, Polandia, Portugal	>15	<70
Slovakia	-	<70

Pada **Tabel 2.4** terlihat bahwa untuk 5 negara (Inggris, Jerman, Irlandia, Polandia, Portugal) membatasi nilai penetrasi aspal >15 dmm, sedangkan untuk Belgia dan Prancis membatasi nilai penetrasi lebih rendah. Untuk Slowakia tidak mensyaratkan nilai penetrasi namun mensyaratkan titik leleh sama dengan lima Negara di atas, yaitu 70°C. Perkerasan dengan menggunakan daur ulang memiliki kelebihan, antara lain (Ramadhan 2019)

- Apabila digunakan secara tepat, recycling dapat menghemat biaya yang berarti dibandingkan dengan penggunaan material baru.
- Membantu melakukan konservasi bahan alam dengan berkurangnya kebutuhan material baru.

- Dengan recycling maka dapat menjaga geometri perkerasan, karena tidakbertambahnya tebal perkerasan. Ketergangguan lalu lintas juga berkurang dibanding teknik rehabilitasi lainnya.

Penggunaan bahan daur ulang yang telah dikenal dengan beberapa teknik, yaitu daur ulang pelaksanaan di lapangan (in place) dan ditempat pencampur (in plant).

- Dilapangan (in place): Penggarukan, pembentukan dan pemadatan ditempat.
- Ditempat pencampur (in plant): Hasil garukan dibawa ke alat pencampur untukdiperbaiki propertiesnya. Ketebalan lapis perkerasan yang dibutuhkan dapatdisesuaikan.

Berdasarkan proses yang diadopsi dalam mendaur ulang campuran bitumen, dapat diklasifikasikan secara luas sebagai daur ulang pabrik pusat dan daur ulang in-situ. Jika RAP dimodifikasi di pabrik, jauh dari lokasi konstruksi maka prosesnya dikenal sebagai daur ulang pabrik pusat. Proses daur ulang in-situ RAP dimodifikasi di tempat, dari mana tersedia. Selanjutnya, RAP dapat dipanaskan untuk mengkondisikannya. Jika panas diterapkan maka proses ini dikenal sebagai daur ulang campuran panas. Dalam hal daur ulang campuran dingin, material lama dikondisikan menggunakan agen daur ulang (seperti, emulsi viskositas rendah) tanpa aplikasi panas (Aravind & Das 2014).

## **2.5 Persyaratan Agregat**

Agregat dapat dibedakan berdasarkan kelompok terjadinya, peengolahan, dan ukuran butirannya. Berdasarkan proses terjadinya agregat dapat dibedakan atas

batuan beku, batuan sedimen, dan batuan metamorfik (Sukirman 2016) Berdasarkan ukuran dan jenis butirannya, agregat dibedakan menjadi agregat kasar, agregat halus, dan filler. Batasan dari masing masing agregat akan berbeda beda, sesuai dengan institusi yang menentukannya.

a. Agregat Kasar

Agregat kasar adalah yang tertahan saringan No. 4 (4,75 mm) dan haruslah bersih, awet dan terbebas dari tanah lempungatau bahan yang tidak dikehendaki lainnya dan memenuhi persyaratan pada tabel 2.5. Agregat kasar ini menjadikan struktur perkerasan jalan lebih stabil dan mempunyai ketahanan terhadap slip yang tinggi sehingga menjamin keamanan lalu lintas.

**Tabel 2. 5 Ketentuan Agregat Kasar (Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 Perkerasan Aspal)**

Jenis Pemeriksaan		Metode Pengujian	Persyaratan
Ketebalan bentuk agregat terhadap larutan		Natrium sulfat	Maks. 12%
			Magnesium sulfat
Abrasi dengan mesin Los Ageles	Campuran AC Modifikasi dan SMA	100 putaran	Maks. 6%
		500 putaran	Maks. 30%
	Semua jenis campuran beraspal bergradasi lainnya	100 putaran	Maks. 8%
		500 putaran	Maks. 40%
Kelekatan agregat terhadap aspal		SNI 2439:2011	Min. 95%
Butir pecah pada Agregat Kasar		SMA	100/90*)
		Lainnya	95/90*)
Partikel Pipih dan Lonjong		SMA	Maks. 5%
		Lainnya	Maks. 10%
Material lolos Ayakan No. 200		SNI ASTM C117:2012	Maks. 1%

**Tabel 2. 6 Ukuran Nominal Agregat Kasar Penampung Dingin Untuk Campuran Beraspal (Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6)**

Jenis Campuran	Ukuran nominal agregat kasar penampung dingin ( <i>cold bin</i> ) minimum yang diperlukan (mm)			
	5 - 8	8 - 11	11 - 16	16 - 22
<i>Stone Matrix Asphalt</i> - Tipis	Ya	Ya		
<i>Stone Matrix Asphalt</i> – Halus	Ya	Ya	Ya	
<i>Stone Matrix Asphalt</i> – Kasar	Ya	Ya	Ya	Ya
	5 - 10	10 - 14	14 - 22	22 -23
Lataston Lapis Aus	Ya	Ya		
Lataston Lapis Fondasi	Ya	Ya		
Laston Lapis Aus	Ya	Ya		
Laston Lapis Antara	Ya	Ya	Ya	
Laston Lapis Fondasi	Ya	Ya	Ya	Ya

b. Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat dengan ukuran butir lebih kecil dari saringan No. 8 (2,36 mm). Agregat dapat meningkatkan stabilitas campuran dengan penguncian antar butiran, agregat halus juga mengisi ruang antar butir. Persyaratan umum agregat halus sesuai spesifikasi Bina Marga 2018 Divisi 6 dapat dilihat pada **Tabel 2.7**.

**Tabel 2. 7 Ketentuan Agregat Halus (Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6)**

Pengujian	Metoda Pengujian	Nilai
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 50%
Uji Kadar Rongga Tanpa Pemadatan	SNI 03-6877-2002	Min. 45%

Gumpalan Lempung dan Butir-butir Mudah Pecah dalam Agregat	SNI 03-4141-1996	Maks. 1%
Agregat Lolos Ayakan No. 200	SNI ASTM C117:2012	Maks. 10%

c. Bahan Pengisi (*filler*)

Bahan pengisi adalah bahan yang lolos saringan No.200 (0,75 mm) dan tidak kurang dari 75% terhadap beratnya. Bahan ini berfungsi sebagai pengisi ringga udara pada material. Filter yang dapat digunakan berupa batu debu atau semen portland.

## 2.6 Parameter Marshall

Uji *Marshall* dilakukan untuk menentukan stabilitas, *flow*, dan *Marshall Quotient*. Selanjutnya hasil tersebut digunakan untuk menentukan kadar aspal optimum. Alat *Marshall* merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan proving ring yang berkapasitas 22,5 KN atau 5000 lbs. Proving ring dilengkapi dengan arloji pengukur yang berguna untuk mengukur atabilitas 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 (M. Adira Farhan, 2019).

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.

Beberapa tahapan pada *Marshall test* ini meliputi:

1. Persiapan benda uji.
2. Penentuan berat jenis bulk dari benda uji.

3. Pemeriksaan nilai stabilitas dan *flow*.
4. Perhitungan sifat volumetric benda uji

### 2.6.1 Perhitungan dalam *Marshall test*

Dasar perhitungan yang menjadi acuan dalam penganalisisan data yaitu mengacu pada SNI 06-2489-1991 dan *The Asphalt Institute* sebagai berikut:

#### 1. Berat Jenis Aspal

Pemeriksaan berat jenis aspal di laboratorium (*Specific Gravity Test*) adalah perbandingan antara berat aspal dan berat air suling dengan isi yang sama pada suhu tertentu (25° C atau 15,6° C). Pengujian ini diperlukan pada saat pelaksanaan untuk konversi dari berat ke volume atau sebaliknya.

$$\text{Berat Jenis} = \frac{(C - A)}{(B - A) - (D - C)} \quad (2.1)$$

Keterangan:

A : massa piknometer dan penutup

B : massa piknometer dan penutup berisi air

C : massa piknometer, penutup dan benda uji

D : massa piknometer, penutup, benda uji dan air

#### 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.

##### a. Agregat Kasar

1) Berat jenis kering

2) Berat jenis semu

$$S_d = \frac{A}{(B - C)} \quad (2.2)$$

$$S_a = \frac{A}{(A - C)} \quad (2.3)$$

3) Penyerapan air

$$S_w = \left[ \frac{B - A}{A} \times 100\% \right] \quad (2.4)$$

4) Berat jenis efektif

$$B.J. Efektif = \frac{S_a + S_d}{2} \quad (2.5)$$

Keterangan:

$S_d$  : 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

C : Berat benda uji dalam air

b. Agregat Halus

1) Berat jenis kering

$$S_d = \frac{Bk}{(B + SSD - Bt)} \quad (2.6)$$

2) Berat jenis semu

$$S_a = \frac{Bk}{(B + Bk - Bt)} \quad (2.7)$$

### 3) Penyerapan air

$$S_w = \frac{SSD - Bk}{Bk} \times 100\% \quad (2.8)$$

### 4) Berat jenis efektif

Keterangan:

$$B.J. Efektif = \frac{S_a + S_d}{2} \quad (2.9)$$

$S_d$  : Berat Jenis Kering

$S_a$  : Berat Jenis Semu

$S_w$  : Penyerapan Air

$Bk$  : Berat pasir kering

$B$  : Berat piknometer + air

$Bt$  : Berat piknometer + pasir + air

$SSD$  : Berat pasir kering permukaan

### 3. Rongga dalam Agregat (VMA)

Rongga antar mineral agregat (VMA) adalah ruang rongga diantara pertikel agregat pada suatu perkerasan, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat). VMA dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$VMA = 100 - \frac{(100 - \%aspal) \times \text{berat volume } b. u}{B. J. \text{ Agregat}} \quad (2.10)$$

Keterangan:

VMA : Rongga udara pada mineral agregat (%)

%Aspal : Kadar aspal terhadap campuran (%)

B.J. Agregat : Berat jenis efektif

#### 4. Rongga dalam Campuran (VIM)

Rongga udara dalam campuran (VIM) dalam campuran perkerasan beraspal terdiri atas ruang udara diantara partikel agregat yang terselimuti aspal.

Volume rongga udara dalam campuran dapat ditentukan dengan rumus berikut:

$$VIM = 100 - \frac{100 \times \text{berat volume } b. u}{B. J. \text{ maksimum teoritis}} \quad (2.11)$$

Berat jenis maksimum teoritis:

$$BJ = \frac{100}{\frac{\%agr}{B. J. Agr} + \frac{\%aspal}{B. J. Aspal}} \quad (2.12)$$

Keterangan:

VIM : Rongga udara pada campuran setelah pemadatan (%)

B.J. Teoritis : Berat jenis campuran maksimum teoritis setelah pemadatan  
(gr/cc)

#### 5. Rongga terisi Aspal (VFA)

Rongga terisi aspal atau *Volume of voids Filled with Asphalt* (VFA) adalah persen rongga yang terdapat diantara partikel agregat (VMA) yang terisi oleh

aspal, tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$VFA = 100X \frac{(VMA - VIM)}{VMA} \quad (2.13)$$

Keterangan:

VFA : Rongga udara terisi aspal (%)

VMA : Rongga udara pada mineral agregat (%)

VIM : Rongga udara pada campuran setelah pemadatan (%)

## 6. Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan lapis keras dalam menahan beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk yang permanen, dinyatakan dalam satuan kilogram (kg). Pengukuran stabilitas dengan *Marshall test* diperlukan untuk mengetahui kekuatan tekan geser dari sampel yang ditahan dua sisi kepala penekan, dengan nilai stabilitas yang cukup tinggi diharapkan perkerasan dapat menahan beban lalu lintas tanpa terjadi kehancuran geser.

Nilai stabilitas diperoleh berdasarkan nilai masing-masing yang ditunjukkan oleh jarum arloji. Hasil pembacaan pada arloji stabilitas harus dikalikan dengan nilai kalibrasi proving ring yang digunakan pada *Marshall*. Pada penelitian ini, alat *Marshall* yang digunakan mempunyai nilai kalibrasi proving ring sebesar 15,9. Selanjutnya, nilai tersebut juga harus disesuaikan dengan angka koreksi terhadap ketebalan benda uji.

## 7. Kelelehan (*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.

#### 8. *Marshall Quotient*

*Marshall Quotient* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$MQ = \frac{MS}{MF} \quad (2.24)$$

Keterangan:

MQ : *Marshall Quotient* (kg/mm)

MS : *Marshall Stability* (kg)

MF : *Flow Marshall* (mm)

### 2.7 Studi Terdahulu

Studi terdahulu merupakan beberapa hasil penelitian yang digunakan untuk mempelajari lebih lanjut dan berkenaan dengan pembahasan pada skripsi ini.

Dibawah ini adalah studi terdahulu yang diambil diantaranya :

1. Dalam penelitian Perbandingan Penggunaan *Polypropilene* (PP) dan *High Density Polyethylene* (HDPE) Pada Campuran Laston\_WC (Rahmawati 2017) di ketahui bahwa :
  - Nilai stabilitas kelelahan dan VFA yang cenderung mengalami peningkatan, sedangkan nilai Flow, VIM, VMA dan MQ yang cenderung mengalami penurunan.
  - Nilai stabilitas, VIM dan MQ untuk campuran aspal-PP memberikan nilai yang lebih tinggi daripada campuran aspal-HDPE

- Nilai kelelahan (flow), VMA, dan VFA campuran aspal-PP lebih rendah daripada campuran aspal-PP

Pada penelitian ini lapisan yang digunakan adalah Laston\_WC dengan variasi benda uji Kadar Aspal yang digunakan 6,5% Kadar plastik yang digunakan 0%, 2%, 4% dan 6% yang dilakukan dengan pengujian *Marshall Test*.

2. Dalam penelitian Campuran Beraspal Menggunakan Reclaimed Asphalt Pavement Dan Agregat Slag Baja (Bethary 2018) di ketahui bahwa Penggunaan material RAP dan Slag baja mencapai optimum pada kadar RAP (20-25)% dan Kadar Slag Baja (25-35)%. Secara keseluruhan pada kondisi optimum ini terjadi peningkatan kinerja campuran beraspal dan ketahanan terhadap kelelahan.

Pada penelitian ini lapisan yang digunakan adalah Laston\_BC dengan variasi benda uji 35% slag baja dan 20% RAP yang dilakukan dengan pengujian *Marshall Test*.

3. Dalam penelitian Pemanfaatan Material Daur Ulang (Rap) Perkerasan Beraspal Untuk Campuran Beraspal Dingin Bergradasi Menerus Dengan Aspal Cair (*Utilization Of Reclaimed Asphalt Pavement Materials (RAP) For Continuous Graded Cold Mix Using Cut-Back Asphalt*) (Nono 2015) di ketahui bahwa :

- Penggunaan RAP 100% pada campuran beraspal dingin dapat meningkatkan nilai stabilitas. Namun untuk nilai pelelehan dan stabilitas sisanya menurun.

- Penggunaan 40% RAP relatif stabilitasnya rendah, namun masih memiliki stabilitas sisa yang relatif sama dengan yang menggunakan agregat baru seluruhnya.

Pada penelitian ini lapisan yang digunakan adalah Laston\_WC dengan variasi benda uji 100% RAP (tanpa penambahan agregat baru) dengan gradasi sesuai gradasi RAP 40% RAP (60% agregat baru) dan yang tanpa RAP (100% agregat baru) sebagai pembanding. yang dilakukan dengan pengujian *Marshall Test*.

4. Dalam penelitian Pengaruh Penambahan Plastik Jenis Low Density Polyethylene (LDPE) Terhadap Karakteristik Campuran Aspal AC-WC (Siregar 2019) diketahui bahwa Pengaruh penambahan plastik LDPE berdasarkan parameter-parameter pengujian Marshall menunjukkan pada kadar 6% memperoleh kualitas campuran beraspal yang optimum dan dilakukan pengujian Wheel Tracking Machine (WTM). Dan nilai stabilitas dinamis yang lebih tinggi di bandingkan tanpa penambahan plastik LDPE pada pengujian WTM. Kecepatan deformasi yang di hasilkan pada campuran aspal dengan penambahan plastik LDPE cukup rendah, sehingga campuran aspal semakin tahan terhadap deformasi.

Pada penelitian ini lapisan yang digunakan adalah Laston\_WC dengan variasi benda uji Plastik LDPE dengan kadar 0%, 4%, 5%, 6%, 8%, 10%, 15% dan 20% dari kadar aspal. yang dilakukan dengan pengujian *Marshall Test*.