

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Umum**

Sejarah pekerjaan jalan pada awalnya hanyalah jalan berupa jejak manusia yang mencari kebutuhan hidup ataupun sumber air. Setelah manusia hidup berkelompok, jejak-jejak itu berubah menjadi jalan setapak, dengan dipergunakannya hewan sebagai alat transportasi, jalan mulai di buat rata.

Jalan pertama kali yang menggunakan perkerasan ditemukan di Mesopotamia berkaitan ditemukannya roda sekitar 3500 SM. Konstruksi perkerasan jalan berkembang pesat pada zaman keemasan romawi, pada saat itu telah dibangun jalan-jalan yang terdiri dari beberapa lapisan perkerasan.

Ahli dari Prancis dan Skotlandia pada abad ke-18 beberapa kali memperkenalkan konstruksi perkerasan yang terdiri dari batu pecahan dan batu kali, pori-pori di atasnya ditutup dengan batu yang lebih halus. Jenis perkerasan ini dikenal dengan perkerasan *Macadam. Piere Morie Jerome Tresaguet (1716-1796)* dari Prancis, mengembangkan sistem batu pecah yang dilengkapi dengan drainase, kemiringan melintang dan mulai menggunakan pondasi dari batu.

Perkerasan jalan dengan menggunakan aspal sebagai bahan pengikat pertama kali ditemukan di Babylonia pada 625 tahun SM, tetapi jenis perkerasan jenis ini tidak berkembang sampai telah ditemukan kendaraan bermotor pada tahun 1880. Mulai tahun 1920 sampai sekarang, teknologi industri perkerasan jalan dengan menggunakan aspal sebagai bahan pengikat sangat berkembang pesat, dan seiring dengan perkembangan pesat tersebut, jenis perkembangan jalan lentur ini dikembangkan pula, berbagai jenis perkerasan bergantung sifat dan kegunaannya, misalnya : Laston, Lataston, Lapen, Latasir dan lain sebagainya.

Perkerasan jalan merupakan lapisan perkerasan yang terletak di antara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan, yang berfungsi memberikan pelayanan kepada sarana transportasi, dan selama masa pelayanannya diharapkan tidak terjadi kerusakan yang berarti. Agar perkerasan mempunyai daya dukung dan keawetan yang memadai, tetapi juga ekonomis, maka perkerasan jalan dibuat berlapis-lapis. Lapisan paling atas disebut juga sebagai lapisan permukaan, yang

merupakan lapisan yang paling baik mutunya. Dibawahnya terdapat lapisan pondasi, yang diletakan di atas tanah dasar yang telah dipadatkan.

Berdasarkan bahan pengikatnya, konstruksi perkerasan jalan dibedakan atas:

1. Konstruksi perkerasan lentur (*flexible pavement*)

Konstruksi perkerasan lentur (*flexible pavement*), yaitu perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Lapisan perkerasan bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas tersebar ke tanah.

2. Konstruksi perkerasan kaku (*rigid pavement*)

Konstruksi perkerasan kaku (*rigid pavement*), yaitu perkerasan yang menggunakan semen portland, sebagai bahan pengikat, dengan atau tanpa tulangan diletakan di atas tanah dasar, dengan atau tanpa lapisan pondasi bawah, beban lalu lintas sebagian besar diikat oleh beton.

3. Konstruksi perkerasan komposit (*composite pavement*)

Konstruksi perkerasan komposit (*composite pavement*), yaitu perkerasan kaku yang dikombinasikan dengan perkerasan lentur di atas perkerasan kaku atau di atas perkerasan lentur.

Perbedaan utama antara perkerasan kaku dan perkerasan lentur dapat dilihat dari tabel di bawah ini.

**Tabel 2. 1** Perbedaan Perkerasan Lentur dan Perkerasan Kaku

		Perkerasan Lentur	Perkerasan Kaku
1	Bahan Pengikat	Aspal	Semen
2	Repetisi Beban	Timbul rutting (lendutan pada jalur roda)	Timbul retak-retak pada permukaan
3	Penurunan Tanah Dasar	Jalan bergelombang (mengikuti tanah dasar)	Bersifat sebagai balok di atas perletakan
4	Perubahan temperatur	Modulus kekakuan berubah. Timbul tegangan dalam yang kecil	Modulus kekakuan tidak berubah Timbul tegangan dalam yang besar

Sumber: Sukirman, Silvia (1992)

Konstruksi perkerasan lentur terdiri dari:

- Lapisan permukaan (*surface course*)
- Lapisan pondasi atas (*base course*)
- Lapisan pondasi bawah (*subbase course*)
- Tanah dasar (*subgrade*)

## 2.2 Fungsi Lapisan Perkerasan

### 2.2.1 Lapisan Permukaan (*Surface Course*)

Lapis permukaan adalah bagian perkerasan yang paling atas. Fungsi lapisan permukaan dapat meliputi:

- a) Lapisan perkerasan menahan beban roda, lapisan mempunyai stabilitas tinggi untuk menahan beban roda selama masa pelayanan.
- b) Lapisan kedap air, sehingga air hujan yang jatuh di atasnya tidak meresap ke lapisan dibawahnya dan melemahkan lapisan-lapisan tersebut.
- c) Lapis aus (*wearing course*), lapisan yang langsung menderita gesekan akibat rem kendaraan sehingga mudah menjadi aus
- d) Lapis yang menyebarkan beban ke lapisan bawah, sehingga dapat dipikul oleh lapisan lain yang mempunyai daya dukung yang lebih jelek.

Guna dapat memenuhi fungsi tersebut di atas, pada umumnya lapisan permukaan dibuat dengan menggunakan bahan pengikat aspal sehingga menghasilkan lapisan kedap air dengan stabilitas yang tinggi dan daya tahan yang lama (Sukirman,1999).

### 2.2.2 Lapisan Pondasi Atas (*Base Course*)

Lapisan pondasi atas adalah perkerasan yang terletak antara lapis permukaan dan lapis pondasi bawah (atau dengan tanah apabila tidak menggunakan lapis pondasi bawah) (Sukirman,1999).

Fungsi lapisan ini adalah:

- 1) Lapis pendukung bagi lapisan permukaan.
- 2) Pemikul beban *horizontal* dan *vertikal*.
- 3) Lapis perkerasan bagi lapis pondasi bawah.

### 2.2.3 Lapisan Pondasi Bawah (*Subbase Course*)

Lapisan pondasi bawah adalah bagian perkerasan yang terletak antara lapis pondasi atas dan tanah dasar (Sukirman,1999).

Fungsi lapisan ini adalah:

- 1) Penyebar beban roda.
- 2) Lapisan peresapan.
- 3) Lapisan pencegah masuknya tanah dasar kelapis pondasi.
- 4) Lapis pertama pada pembuatan perkerasan.

### 2.2.4 Lapisan Tanah Dasar (*Subgrade*)

Lapisan tanah dasar adalah lapisan tanah setebal 50-100 cm yang berada dibawah lapisan pondasi bawah. Lapisan tanah dasar ini dapat berupa tanah asli yang dipadatkan yang jika tanah aslinya baik, tanah yang di datangkan dari tempat Lain dan dipadatkan atau tanah yang distabilisasi dengan kapur atau bahan lainnya, merupakan permukaan tanah dasar untuk perletakan bagian-bagian perkerasan lainnya (Sukirman,1999).

## 2.3 Bahan Penyusun Perkerasan Lentur

Bahan penyusun lapis permukaan untuk perkerasan lentur yang utama terdiri atas bahan ikat dan bahan pokok. Bahan pokok bisa berupa pasir, kerikil, batu pecah/agregat dan lain-lain. Sedang untuk bahan ikat untuk perkerasan bisa berbeda-beda, tergantung dari jenis perkerasan jalan yang akan dipakai. Bisa berupa tanah liat, aspal/ bitumen, *portland cement*, atau kapur/ *lime* (Sukirman,1999).

### 2.3.1 Aspal

Aspal merupakan senyawa hidrokarbon berwarna coklat gelap atau hitam pekat yang dibentuk dari unsur-unsur *asphathenes*, *resins*, dan *oils*. Aspal pada lapis perkerasan berfungsi sebagai bahan ikat antara agregat untuk membentuk suatu campuran yang kompak, sehingga akan memberikan kekuatan masing- masing agregat (*Kerbs and Walker, 1971*). Selain sebagai

bahan ikat, aspal juga berfungsi untuk mengisi rongga antara butir agregat dan pori-pori yang ada dari agregat itu sendiri.

Pada temperatur ruang aspal bersifat *thermoplastis*, sehingga aspal akan mencair jika dipanaskan sampai pada temperatur tertentu dan kembali membeku jika temperatur turun. Bersama agregat, aspal merupakan material pembentuk campuran perkerasan jalan. Banyaknya aspal dalam campuran perkerasan berkisar antara 4-10% berdasarkan berat campuran, atau 10-15% berdasarkan volume campuran (Sukirman, Silvia. 2003. Beton Aspal Campuran Panas) (Sukirman, 1999).

#### **A. Jenis Aspal**

##### 1) Aspal alam

Aspal alam ditemukan dipulau Buton (Sulawesi Tenggara Indonesia), Perancis, Swiss, dan Amerika Serikat.

##### 2) Aspal buatan

Aspal buatan merupakan residu penyulingan minyak bumi, dengan karakteristiknya sangat bergantung dari jenis minyak bumi yang disuling (dikilang), apakah minyak bumi berbasis aspal (*asphaltic base*), paraffin (*parafine base*) atau berbasis campuran (*mixes base*).

##### 3) Aspal polimer

Aspal polimer adalah suatu material yang dihasilkan dari modifikasi antara polimer alam atau polimer sintetis dengan aspal. Modifikasi aspal polimer (atau biasa disingkat dengan PMA) telah dikembangkan selama beberapa dekade terakhir. Umumnya dengan sedikit penambahan bahan polimer (biasanya sekitar 2-6%) sudah dapat meningkatkan hasil ketahanan yang lebih baik terhadap deformasi, mengatasi keretakan-keretakan dan meningkatkan ketahanan using dari kerusakan akibat umur sehingga dihasilkan pembangunan jalan lebih tahan lama serta juga dapat mengurangi biaya perawatan atau perbaikan jalan. Bahan aditif aspal adalah suatu bahan yang dipakai untuk ditambahkan pada aspal. Penggunaan bahan aditif aspal merupakan bagian dari klasifikasi jenis aspal modifier yang berunsur dari jenis karet, karet sintetis atau buatan juga dari karet yang sudah diolah (dari ban bekas), dan juga dari bahan plastik. Penggunaan campuran polimer aspal merupakan trend yang

semakin meningkat tidak hanya karena faktor ekonomi, tetapi juga demi mendapatkankualitas aspal yang lebih baik dan tahan lama. Modifikasi polimer aspal yang diperoleh dari interaksi antara komponen aspal dengan bahan aditif polimer dapat meningkatkan sifat-sifat dari aspal tersebut. Dalam hal ini terlihat bahwa keterpaduan aditif polimer yang sesuai dengan campuran aspal. Penggunaan polimer sebagai bahan untuk memodifikasi aspal terus berkembang di dalam dekade terakhir (Supratman,2019).

### **2.3.2 Agregat**

Agregat adalah batu pecah, kerikil, pasir atau komposisi mineral lainnya baik berupa hasil alam maupun pengolahan (pemecahan) yang merupakan bahan utama konstruksi jalan. Konstruksi lapis permukaan dengan campuran beton aspal, proporsi agregat sebagai komponen utama berkisar antara 90-95 % agregat berdasarkan persentase berat atau 75-85 % berdasarkan persentase volume. Sedangkan aspal sebagai komponen kecil umumnya 4-10 % berdasarkan berat atau 10-15 % berdasarkan volume. Dengan demikian daya dukung, keawetan dan mutu perkerasan jalan ditentukan juga dari sifat agregat dan hasil campuran dari agregat dan mineral lain.

Agregat yang ideal untuk campuran perkerasan lentur mempunyai ukuran dan gradasi yang baik, kuat dan kokoh serta mempunyai bentuk partikel bersudut. Karakteristik lain yang diperlukan yaitu mempunyai porositas yang rendah, permukaan butir yang cukup besar dan bersih dari bahan mikroorganisme serta bebas dari tanah (kotoran).

Sifat dan kualitas agregat menentukan kemampuan dalam memikul beban lalu lintas. Agregat dengan kualitas dan sifat yang baik sangat dibutuhkan untuk lapisan permukaan yang langsung memikul beban lalu lintas dan menyebarkan ke lapisan bawahnya. Sifat agregat yang menentukan kualitasnya sebagai bahan konstruksi perkerasan jalan dapat dikelompokkan menjadi tiga kelompok yaitu:

- 1) Kekuatan dan keawetan
- 2) Kemampuan dilapisi aspal dengan baik
- 3) Kemudahan dalam pelaksanaan dan menghasilkan lapisan yang nyaman dan aman (Sukirman,1999).

Gradasi adalah susunan butir agregat sesuai dengan ukurannya. Gradasi atau distribusi partikel-partikel berdasarkan ukuran agregat merupakan hal yang penting dalam menentukan stabilitas perkerasan. Gradasi agregat mempengaruhi besarnya rongga antar butir yang akan menentukan stabilitas dan kemudahan dalam proses pelaksanaan.

Gradasi agregat diperoleh dari hasil analisa saringan, dengan menggunakan satu set saringan, dimana saringan yang paling kasar diletakan di atas dan yang halus dibawahnya. Gradasi agregat dinyatakan dalam persentase lolos atau persentase tertahan yang dihitung berdasarkan berat agregat. Gradasi dari agregat dapat dibedakan atas:

1) Agregat bergradasi baik

Agregat bergradasi baik adalah agregat dengan ukuran butirnya terdistribusi merata dalam satu rentang ukuran butiran. Berdasarkan ukuran agregat dominan penyusun campuran, maka agregat bergradasi baik dapat dibedakan atas :

- a) Agregat bergradasi kasar adalah agregat bergradasi baik yang mempunyai susunan ukuran menerus dari kasar sampai dengan halus, tetapi dominan berukuran besar.
- b) Agregat bergradasi halus adalah agregat bergradasi baik yang mempunyai susunan ukuran menerus dari kasar sampai halus, tetapi dominan berukuran besar (Supratman,2019).

2) Agregat bergradasi buruk

- a) Agregat bergradasi seragam adalah agregat yang hanya terdiri dari butir-butir agregat berukuran sama atau hampir sama.
- b) Agregat bergradasi terbuka adalah agregat yang distribusi ukuran butirannya sedemikian rupa sehingga pori-porinya tidak terisi dengan baik.
- c) Agregat bergradasi senjang adalah agregat yang distribusi ukuran butirnya tidak menerus, atau ada bagian ukuran yang tidak ada, jika ada hanya sedikit sekali (Supratman,2019).

**Tabel 2.2** Gradasi Agregat untuk Campuran Aspal

Ukuran Ayakan		% Berat yang lolos terhadap total agregat							
		<i>Stone Matrix Asphalt</i>			<i>Lataston (HRS)</i>		<i>Laston (AC)</i>		
ASTM	(mm)	Tipis	Halus	Kasar	<i>WC</i>	<i>Base</i>	<i>WC</i>	<i>BC</i>	<i>Base</i>
1½"	37,5	-	-	-	-	-	-	-	100
1"	25	-	-	100	-	-	-	100	90-100
¾"	19	-	100	90-100	100	100	100	90-100	76-90
½"	12,5	100	90-100	50-88	90-100	90-100	90-100	75-90	60-78
3/8"	9,5	70-95	50-80	25-60	75-85	65-90	77-90	66-82	52-71
No.4	4,75	30-50	20-35	20-28	-	-	53-69	46-64	35-54
No.8	2,36	20-30	16-24	16-24	50-72	35-55	33-53	30-49	23-41
No.16	1,18	14-21	-	-	-	-	21-40	18-38	13-30
No.30	0,600	12-18	-	-	35-60	15-35	14-30	12-28	10-22
No.50	0,300	10-15	-	-	-	-	9-22	7-20	6-15
No.100	0,150	-	-	-	-	-	6-15	5-13	4-10
No.200	0,075	8-12	8-11	8-11	6-10	2-9	4-9	4-8	3-7

Sumber : *Spesifikasi Umum Bina Marga 2018*

### A. Jenis-Jenis Agregat

Berdasarkan ukuran partikel-partikel agregat, dapat dibedakan menjadi:

#### 1) Agregat Kasar

Agregat kasar adalah agregat yang tertahan pada saringan No. 4 (4,75 mm) terdiri dari batu pecah atau koral (kerikil pecah) berasal dari alam yang merupakan batu endapan. Agregat kasar harus bersih, keras, awet, bebas dari lempung atau bahan-bahan lain yang tidak dikehendaki dan harus memenuhi persyaratan yang telah ditentukan, yang dapat dilihat pada tabel 2.3. Agregat kasar pada campuran beraspal berfungsi memberikan kekuatan yang pada akhirnya mempengaruhi nilai stabilitas dalam campuran, dengan kondisi saling mengunci dari masing-masing partikel agregat (Supratman,2019).



**Tabel 2.3** Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian		Metoda Pengujian	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan	natrium sulfat	SNI 3407:2008	Maks.12 %
	magnesium sulfat		Maks.18 %
Abrasi dengan mesin Los Angeles <sup>1)</sup>	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	SNI 7619:2012	100/90 <sup>*)</sup>
	Lainnya		95/90 <sup>**)</sup>
Partikel Pipih dan Lonjong	SMA	ASTM D4791-10 Perbandingan 1 : 5	Maks. 5%
	Lainnya		Maks. 10 %
Material lolos Ayakan No.200		SNI ASTM C117: 2012	Maks. 1%

Catatan:

(\*) 100/90 menunjukkan bahwa 100% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih dan 90% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah dua atau lebih.

(\*\*) 95/90 menunjukan bahwa 95% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih dan 90% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah dua atau lebih.

Sumber : *Spesifikasi Umum Bina Marga 2018*

## 2) Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat yang lolos saringan No. 4 (4,75 mm) terdiri dari bahan-bahan berbidang kasar bersudut tajam dan bersih dari kotoran atau bahan-bahan yang tidak dikehendaki.

Karakteristik agregat halus yang menjadi tumpuan bagi kekuatan campuran aspal terletak pada jenis, bentuk dan tekstur permukaan dari agregat. Agregat halus memegang peranan penting dalam pengontrolan daya tahan terhadap deformasi, tetapi penambahan daya tahan ini diikuti pula dengan penurunan daya tahan campuran secara keseluruhan jika melebihi proporsi yang ditentukan. Agregat halus mempunyai fungsi untuk meningkatkan stabilitas campuran melalui saling mengunci (*inter locking*) antar butir dan pengisi ruang antar butir agregat kasar. (Supratman,2019).

**Tabel 2.4** Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Standar	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 %

Sumber : *Spesifikasi Umum Bina Marga 2018*

### 3) Bahan Pengisi (*Filler*)

Bahan pengisi (*filler*) adalah agregat halus dengan partikel yang umumnya Lolos saringan no. 200 atau lebih kecil dari 0,075 mm menurut AASHTO (silvia sukirman, 1992 : 42). *Filler* mempunyai fungsi mempertinggi kepadatan dan stabilitas campuran, menambah jumlah titik kontak butiran, mengurangi jumlah bitumen yang digunakan untuk mengisi rongga dalam campuran.

Pada prakteknya fungsi dari *filler* adalah meningkatkan viskositas dari aspal dan mengurangi kepekaan terhadap temperatur. Menurut Hatherly (1987), meningkatnya komposisi *filler* dalam campuran dapat meningkatkan stabilitas campuran tetapi menurunkan kadar *air void* (rongga udara) dalam campuran. Meskipun demikian komposisi *filler* dalam campuran tetap dibatasi, karena terlalu tinggi kadar *filler* dalam campuran akan mengakibatkan campuran menjadi getas (*brittle*) dan akan retak (*crack*) ketika menerima beban lalu lintas. Akan tetapi terlalu rendah kadar *filler* mengakibatkan campuran akan terlalu lunak pada saat cuaca panas. Material yang sering digunakan sebagai *filler* adalah semen portland, batu kapur, dan abu batu (Narita,2011).

### B. Bentuk dan Tekstur Agregat

Bentuk dan tekstur agregat mempengaruhi stabilitas dari lapisan perkerasan yang dibentuk oleh agregat tersebut. Agregat yang paling baik untuk digunakan sebagai bahan perkerasan jalan adalah berbentuk kubus, tetapi jika tidak ada, maka agregat yang memiliki minimal satu bidang pecahan, dapat digunakan sebagai alternatif berikutnya.

Partikel agregat dapat berbentuk sebagai berikut :

1) Bentuk bulat (*rounded*)

Bidang kontak antar agregat berbentuk bulat sangat sempit, hanya berupa titik singgung, sehingga menghasilkan penguncian antar agregat yang tidak baik, dan menghasilkan kondisi kepadatan lapisan perkerasan yang kurang baik.

2) Bentuk kubus (*cubical*)

Merupakan agregat hasil pemecah batu massif, atau hasil pemecahan mesin pemecah batu. Bidang kontak agregat ini luas, sehingga mempunyai daya saling mengunci yang baik. Kestabilan yang diperoleh lebih baik dan lebih tahan terhadap deformasi. Agregat ini merupakan agregat yang terbaik untuk dipergunakan sebagai material perkerasan jalan.

3) Lonjong (*elongated*)

Partikel agregat berbentuk lonjong dapat ditemui di sungai-sungai atau bekas endapan sungai. Agregat dikatakan lonjong jika ukuran terpanjangnya lebih panjang dari 1,8 kali diameter rata-rata. Sifat *interlocking*-nya hampir sama dengan yang berbentuk bulat.

4) Bentuk pipih (*flaksi*)

Partikel agregat berbentuk pipih dapat merupakan hasil dari mesin pemecah batu ataupun memang merupakan sifat dari agregat tersebut yang jika dipecahkan cenderung berbentuk pipih. Agregat pipih yaitu agregat yang lebih tipis dari 0,6 kali diameter rata-rata. Agregat berbentuk pipih mudah pecah pada waktu pencampuran, pemadatan ataupun akibat beban lalu lintas.

5) Bentuk tak beraturan (*irragular*)

Partikel agregat tak beraturan, tidak mengikuti salah satu yang disebutkan di atas. Tekstur permukaan berpengaruh pada ikatan antara batu dengan aspal. Tekstur permukaan agregat terdiri atas :

1. Kasar sekali (*very rough*)
2. Kasar (*rough*)
3. Halus
4. Halus dan licin (*polished*)

## 2.4 Beton Aspal

Beton aspal adalah tipe campuran lapisan penutup konstruksi perkerasan jalan yang mempunyai nilai struktural dengan kualitas yang tinggi, terdiri dari agregat yang berkualitas yang dicampur dengan aspal sebagai bahan pengikatnya. Material-material pembentuk beton aspal dicampur di instalasi pencampur pada suhu tertentu, kemudian diangkut ke lokasi, dihamparkan, dan dipadatkan.

Dalam pencampuran aspal harus dipanaskan untuk memperoleh tingkat kecairan (*viskositas*) yang tinggi agar dapat mendapatkan mutu campuran yang baik dan kemudahan dalam pelaksanaan. Pemilihan jenis aspal yang akan digunakan ditentukan atas dasar iklim, kepadatan lalu lintas dan jenis konstruksi yang akan digunakan.

### 2.4.1 Jenis Beton Aspal

Jenis beton aspal dapat dibedakan berdasarkan temperatur pencampuran material pembentuk beton aspal, dan fungsi beton aspal.

Berdasarkan temperatur ketika mencampur dan memadatkan campuran, campuran beraspal (beton aspal) dapat dibedakan atas:

1. Beton aspal campuran panas (*hot mix*) adalah beton aspal yang material pembentuknya di campur pada suhu pencampuran sekitar 140°C.
2. Beton aspal campuran sedang (*warm mix*) adalah beton aspal yang material pembentuknya di campur pada suhu pencampuran sekitar 60°C.
3. Beton aspal campuran dingin (*cold mix*) adalah beton aspal yang material pembentuknya di campur pada suhu pencampuran sekitar 25°C.

Sedangkan berdasarkan fungsinya beton aspal dapat dibedakan atas:

1. Beton aspal untuk lapisan aus/ *wearing course* (WC), adalah lapisan perkerasan yang berhubungan langsung dengan ban kendaraan, merupakan lapisan yang kedap air, tahan terhadap cuaca, dan mempunyai kekesatan yang diisyaratkan.
2. Beton aspal untuk lapisan pondasi/ *binder course* (BC), adalah lapisan

perkerasan yang terletak di bawah lapisan aus tidak berhubungan langsung dengan cuaca, tetapi perlu stabilisasi untuk memikul beban lalu lintas yang dilimpahkan melalui roda kendaraan.

Beton aspal untuk pembentuk dan perata lapisan beton aspal yang sudah lama, yang pada umumnya sudah aus dan seringkali tidak lagi berbentuk *crowm* (Sukirman,2003)

## 2.5 Campuran Aspal Panas

Campuran aspal panas adalah campuran perkerasan yang terdiri dari kombinasi agregat yang dicampur dengan aspal pada suhu tertentu, Umumnya suhu pencampuran dilakukan pada suhu 145°C – 155°C. Pencampuran dilakukan sedemikian rupa sehingga permukaan agregat terselimuti aspal dengan seragam.

Saat ini di Indonesia terdapat berbagai macam bentuk aspal campuran panas yang digunakan untuk lapisan perkerasan jalan. Perbedaannya terletak pada jenis gradasi agregat dan kadar aspal yang digunakan. Pemilihan jenis beton aspal yang akan digunakan di suatu lokasi sangat ditentukan oleh jenis karakteristik beton aspal yang lebih diutamakan. Pemilihan jenis beton aspal ini mempunyai konsekuensi pori dalam campuran menjadi lebih sedikit, kadar aspal yang dapat dicampurkan juga berkurang, sehingga selimut aspal menjadi lebih tipis (Sukirman,2003).

Jenis beton aspal campuran panas yang ada di Indonesia saat ini adalah:

1. Laston (Lapisan Aspal Beton), adalah beton aspal bergradasi menerus yang umum digunakan untuk jalan-jalan dengan beban lalu lintas yang cukup berat. Laston dikenal pula dengan nama *AC (Asphalt Concrete)*. Karakteristik beton aspal yang terpenting pada campuran ini adalah stabilitas.

Sesuai fungsinya Laston mempunyai 3 macam campuran yaitu:

- a. Laston sebagai lapisan aus, dikenal dengan nama *AC-WC (Asphalt Concrete-Wearing Course)*. Tebal nominal minimum *AC-WC* adalah 4 cm.

- b. Laston sebagai lapisan pengikat, dikenal dengan nama *AC-BC (Asphalt Concrete-Binder Course)*. Tebal nominal minimum *AC-WC* adalah 5 cm.
  - c. Laston sebagai lapisan pondasi, dikenal dengan nama *AC-Base (Asphalt Concrete-Base)*. Tebal nominal minimum *AC-BC* adalah 6 cm.
2. Lataston (Lapisan Tipis Aspal Beton), adalah beton aspal bergradasi senjang. Lataston biasa pula disebut dengan *HRS (Hot Rolled Sheet)*. Karakteristik beton aspal yang terpenting pada campuran ini adalah durabilitas dan fleksibilitas. Sesuai fungsinya Lataston mempunyai 2 macam campuran yaitu:
- a. Lataston sebagai lapisan aus, dikenal dengan nama *HRS-WC (Hot Rolled Sheet-Wearing Course)*. Tebal nominal minimum *HRS-WC* adalah 3 cm.
  - b. Lataston sebagai lapisan pondasi, dikenal dengan nama *HRS-Base (Hot Rolled Sheet-base)*. Tebal nominal minimum *HRS-Base* adalah 3,5 cm.
3. Latasir (Lapisan Tipis Aspal Pasir), adalah beton aspal untuk jalan-jalan dengan lalu lintas ringan, khususnya dimana agregat kasar tidak atau sulit diperoleh. Oleh karena itu tidak diperkenankan untuk daerah berlalu lintas berat atau daerah tanjakan. Latasir biasa pula disebut sebagai *SS (Sand Sheet)* atau *HRSS (Hot Rolled Sand Sheet)*. Sesuai gradasi agregatnya, campuran latasir dapat dibedakan atas:
- a. Latasir kelas A, dikenal dengan nama *HRSS-A* atau *SS-A*. Tebal nominal minimum *HRSS-A* adalah 1,5 cm.
  - b. Latasir kelas B, dikenal dengan nama *HRSS-B* atau *SS-B*. Tebal nominal minimum *HRSS-A* adalah 2 cm. Gradasi agregat *HRSS-B* lebih kasar dari *HRSS-A*.
4. Lapisan perata adalah beton aspal yang digunakan sebagai lapisan perata dan pembentuk penampang melintang pada permukaan jalan lama. Semua jenis campuran beton aspal dapat digunakan, tetapi untuk membedakan dengancampuran untuk lapis perkerasan jalan baru, maka setiap jenis campuran beton aspal tersebut ditambahkan huruf *L (Leveling)*. Jadi ada jenis campuran *AC-WC(L)*, *AC-BC(L)*, *AC-*

*Base(L)*, *HRS-WC(L)*, dan seterusnya.

5. *SMA (Split Mastic Asphalt)* adalah beton aspal bergradasi terbuka dengan selimut aspal yang tebal. Campuran ini mempergunakan tambahan berupa fiber selulosa yang berfungsi untuk menstabilisasi kadar aspal yang tinggi. Lapisan ini terutama digunakan untuk jalan-jalan dengan beban lalu lintas berat. Ada 3 jenis *SMA*, yaitu:
  - a. *SMA 0 / 5* dengan tebal perkerasan 1,5 – 3 cm.
  - b. *SMA 0 / 8* dengan tebal perkerasan 2 – 4 cm.
  - c. *SMA 0 / 11* dengan tebal perkerasan 3 – 5 cm (Sukirman,2003).

## 2.6 Lataston

Lataston atau *Hot Rolled Sheet (HRS)* yang bergradasi senjang ini adalah campuran aspal dengan kadar aspal yang relatif tinggi dari pada jenis laston . Maksud dari penggunaan kadar aspal yang tinggi adalah agar perkerasan mempunyai fleksibilitas tinggi, awet dan tahan terhadap kelelahan. Ketiadaan ukuran agregat antara 2,36 mm dan ukuran 0,6 mm, menyebabkan campuran aspal yang diproduksi cenderung menjadi jenis aspal bergradasi relatif halus, serta kadar aspal yang berlebihan. Campuran ini lebih tahan terhadap retak, tetapi mudah mengalami deformasi plastis yang berupa timbulnya alur (*rutting*) pada permukaan perkerasan, terutama akibat lalu-lintas berat (Supratman,2019).

Lataston terdiri dari 2 macam yaitu : Lataston lapis pondasi (*HRS-base*) dan Lataston lapis permukaan (*HRS-wearing course*). Perbedaan kedua jenis campuran tersebut terdapat pada gradasi agregat yang digunakan. Jenis agregat yang digunakan terdiri dari agregat kasar, agregat halus, dan butiran pengisi (*filler*), sedangkan aspal yang digunakan biasanya jenis aspal keras pen 60/70. Ukuran maksimum agregat dari masing-masing campuran adalah 19 mm dan tebal perkerasan maksimum untuk campuran *HRS-WC* adalah 3 cm.

Lataston berfungsi sebagai lapis penutup untuk mencegah masuknya air dari permukaan ke dalam konstruksi perkerasan sehingga dapat mempertahankan kekuatan konstruksi sampai tingkat tertentu.

a. Sifat HRS

- 1) Kedap air
- 2) Kekenyalan yang tinggi
- 3) Awet
- 4) Dianggap tidak memiliki nilai structural

b. Penggunaan

Lataston umumnya digunakan pada jalan yang telah beraspal dengan ketentuan sebagai berikut :

- 1) Jalan yang stabil dan rata atau dibuat rata
- 2) Jalan yang mulai retak-retak atau mulai mengalami degradasi permukaan.

## 2.7 Karakteristik Campuran Beraspal

Menurut Sukirman (2003), terdapat tujuh karakteristik campuran yang harus dimiliki oleh beton aspal adalah stabilitas (stability), keawetan (durability), kelenturan (flexibility), ketahanan terhadap kelelahan (fatigue resistance), kekesatan permukaan atau ketahanan geser (skid resistance), kedap air dan kemudahan pelaksanaan (workability).

Di bawah ini adalah penjelasan dari ketujuh karakteristik tersebut :

1. Stabilitas (Stability)

Stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur dan bleeding.

2. Keawetan (Durability)

Keawetan adalah kemampuan perkerasan jalan untuk mencegah terjadinya perubahan pada aspal dari kehancuran agregat dan mengelupasnya selaput aspal pada batuan agregat akibat cuaca, air, suhu udara dan keausan akibat gesekan dengan roda kendaraan.

3. Kelenturan (Flexibility)

Kelenturan adalah kemampuan perkerasan jalan untuk menyesuaikan diri akibat penurunan (konsolidasi/settlement) dan pergerakan dari pondasi atau tanah dasar, tanpa terjadi retak. Penurunan terjadi akibat dari repetisi beban lalu lintas ataupun akibat beban sendiri tanah timbunan yang dibuat di atas tanah asli.



#### 4. Ketahanan Terhadap Kelelahan (Fatigue Resistance)

Ketahanan terhadap kelelahan adalah kemampuan perkerasan jalan untuk menerima lendutan berulang akibat repetisi beban, tanpa terjadinya kelelahan berupa alur dan retak. Hal ini dapat tercapai jika menggunakan kadar aspal yang tinggi.

#### 5. Kekesatan/tahanan geser (Skid Resistance)

Kekesatan/tahanan geser adalah kemampuan permukaan beton aspal terutama pada kondisi basah, memberikan gaya gesek pada roda kendaraan sehingga kendaraan tidak tergelincir. Faktor-faktor untuk mendapatkan kekesatan jalan sama dengan untuk mendapatkan stabilitas yang tinggi, yaitu kekasaran permukaan dari butir-butir agregat, luas bidang kontak antar butir atau bentuk butir, gradasi agregat, kepadatan campuran.

#### 6. Kedap Air (Impermeability)

Kedap air adalah kemampuan aspal beton untuk tidak dapat dimasuki air ataupun udara. Air dan udara dapat mengakibatkan percepatan proses penuaan aspal dan pengelupasan selimut aspal dari permukaan agregat.

#### 7. Kemudahan Pelaksanaan (Workability)

Kemudahan pelaksanaan adalah kemampuan campuran aspal beton untuk mudah dihamparkan dan dipadatkan. Kemudahan pelaksanaan menentukan tingkat efisiensi pekerjaan. Faktor kemudahan dalam proses penghamparan dan pemadatan adalah viskositas aspal, kepekatannya terhadap perubahan temperatur dan gradasi serta kondisi agregat (Sukirman, 2003)

## 2.8 Batu Bara

Batu bara adalah salah satu bahan bakar fosil. Pengertian umumnya adalah batuan sedimen yang dapat terbakar, terbentuk dari endapan organik, utamanya adalah sisa-sisa tumbuhan dan terbentuk melalui proses pembatubaraan. Unsur-unsur utamanya terdiri dari karbon, hidrogen dan oksigen.

Batu bara juga adalah batuan organik yang memiliki sifat-sifat fisika dan kimia yang kompleks yang dapat ditemui dalam berbagai bentuk. Analisis unsur memberikan rumus formula empiris seperti  $C_{137}H_{97}O_9NS$  untuk bituminus dan  $C_{240}H_{90}O_4NS$  untuk antrasit.

Pembentukan batu bara memerlukan kondisi-kondisi tertentu dan hanya terjadi pada era-era tertentu sepanjang sejarah geologi. Zaman Karbon, kira-kira 340 juta tahun yang lalu (jtl), adalah masa pembentukan batu bara yang paling produktif di mana hampir seluruh deposit batu bara (*black coal*) yang ekonomis di belahan bumi bagian utara terbentuk.

Pada Zaman Permian, kira-kira 270 jtl, juga terbentuk endapan-endapan batu bara yang ekonomis di belahan bumi bagian selatan, seperti Australia, dan berlangsung terus hingga ke Zaman Tersier (70 - 13 jtl) di berbagai belahan bumi lain. (id.wikipedia.org)

## 2.9 Abu Batu Bara (*fly ash* dan *bottom ash*)

*Fly Ash* dan *Bottom Ash* merupakan limbah padat yang dihasilkan dari proses pembakaran batu bara pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). Ada tiga type pembakaran batu bara pada industri listrik yaitu *dry bottom boilers*, *wet-bottom boilers* dan *cyclon furnace*.

Apabila batu bara dibakar dengan type *dry bottom boilers*, maka kurang lebih 80% dari abu meninggalkan pembakaran sebagai *fly ash* dan masuk dalam corong gas. Apabila batu bara dibakar dengan *wet-bottom boilers* sebanyak 50% dari abu tertinggal di pembakaran dan 50% lainnya masuk dalam corong gas. Pada *cyclon furnace*, dimana potongan batu bara digunakan sebagai bahan bakar, 70-80% dari abu tertahan sebagai *boiler slag* dan hanya 20-30% meninggalkan pembakaran sebagai *dry ash* pada corong gas.

Perbedaan antara *fly ash* dan *bottom ash* adalah ukuran *bottom ash* lebih besar dari *fly ash*, penampilan fisik *bottom ash* mirip dengan pasir sungai alami, dan gradasinya bervariasi seperti pasir halus dan pasir kasar sedangkan *fly ash* berbentuk bubuk yang halus. Berikut limbah batu bara *fly ash* dan *bottom ash* yang ada di PLTU Ketapang :



**Gambar 2. 1** limbah batubara *fly ash* dan *bottom ash*

### 2.10 *Bottom Ash*

*Bottom Ash* merupakan bahan buangan dari proses pembakaran batu bara pada pembangkit tenaga yang mempunyai ukuran partikel lebih besar dan lebih berat dari pada *fly ash*, sehingga *Bottom Ash* akan jatuh pada dasar tungku pembakaran (*boiler*) dan terkumpul pada penampung debu (*ash hopper*) lalu dikeluarkan dari tungku dengan cara disemprot dengan air untuk kemudian dibuang atau dipakai sebagai bahan tambahan pada perkerasan jalan. Sifat dari *Bottom Ash* sangat bervariasi karena dipengaruhi oleh jenis batu bara dan sistem pembakarannya. Beberapa sifat fisik yang penting dari *Bottom Ash* adalah sebagai berikut: Sifat fisik *Bottom Ash* berdasarkan bentuk, warna, tampilan, ukuran, *specific gravity*, *dry unit weight* dan penyerapan dari *wet* dan *dry Bottom Ash* dapat dilihat pada **Tabel 2.5**

**Tabel 2. 5** sifat fisik bottom ash

Sifat Fisik Bottom Ash	<i>Wet</i>	<i>Dry</i>
Bentuk	Angular/bersiku	Berbutir kecil/granular
Warna	Hitam	Abu-abu gelap
Tampilan	Keras mengkilap	Seperti pasir halus, sangat berpori
Ukuran (%lolos ayak)	No. 4 (90 – 100%) No. 10 (40 – 60%) No. 40 (10%) No. 200 (5%)	1,5 s/d 3/4 in (100%) No. 4 (50 – 90%) No. 10 (10 – 60%) No. 40 (0 – 10%)
<i>Spesific gravity</i>	2,3 – 2,9	2,1 – 2,7
<i>Dry unit weight</i>	960 – 1440 kg/m <sup>3</sup>	720 – 1600 kg/m <sup>3</sup>
Penyerapan	0,3 – 1,1%	0,8 – 2,0%

Sumber : Achmad Subki Arinata, et.al, 2013

*Wet Bottom Ash* adalah limbah batu bara yang baru dikeluarkan dari dasar tungku pembakaran sedangkan *Dry Bottom Ash* adalah limbah batu bara yang sudah di

kumpulkan di ashyard ( tempat pengumpulan limbah ).

Dalam penelitian ini saya menggunakan *dry bottom ash* sebagai agregat halus pengganti pasir.

Komposisi kimia dari bottom ash sebagian besar tersusun dari unsur-unsur Si, Al, Fe, Ca, serta Mg, S, Na dan unsur kimia yang lain [1,5]. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Moulton, didapat bahwa kandungan garam dan pH yang rendah dari bottom ash dapat menimbulkan sifat korosi pada struktur baja yang bersentuhan dengan campuran yang mengandung *bottom ash*. Selain itu rendahnya nilai pH yang ditunjukkan oleh tingginya kandungan sulfat yang terlarut menunjukkan adanya kandungan pyrite (iron sulfide) yang besar.

### 2.11 Uji Marshall

Pengujian dengan alat *Marshall* dilakukan sesuai dengan prosedur Bina Marga. Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik campuran, menentukan ketahanan atau *stabilitas* terhadap kelelahan plastis (*flow*) dari campuran aspal. Hubungan antara ketahanan (*stabilitas*) dan kelelahan plastisitas (*flow*) adalah berbanding lurus, semakin besar *stabilitas*, semakin besar pula *flow*-nya, dan begitu juga sebaliknya. Jadi semakin besar stabilitasnya maka aspal akan semakin mampu menahan beban, demikian juga sebaliknya. Dan jika *flow* semakin tinggi maka aspal semakin mampu menahan beban.



**Gambar 2. 2** Gambar Alat Uji Marshall

*Sumber: Dokumentasi Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura*

### 2.11.1 Parameter *Marshall*

Alat *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*.
4. Perhitungan sifat *volumetric* benda uji.

Campuran yang di gunakan pada pengujian *Marshall* harus memenuhi beberapa persyaratan dalam pengujiannya. Adapun persyaratan campuran untuk lataston dapat dilihat pada **Tabel 2.6**.

**Tabel 2. 6** Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Lataston

Sifat-Sifat Campuran	Spesifikasi Lataston ( <i>HRS-Base</i> )
Jumlah tumbukan per bidang	50 kali
Rongga dalam campuran (VIM) (%)	4,0-6,0 %
Rongga dalam agregat (VMA) (%)	Min 18 %
Rongga terisi aspal (VFA) (%)	Min 68 %
Stabilitas <i>Marshall</i> (Kg)	Min 600 Kg
<i>Marshall Quotient</i> (kg/mm)	Min 250
Sifat-Sifat Campuran	Spesifikasi Lataston ( <i>HRS-Base</i> )
Stabilitas <i>Marshall</i> sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam , 60 °C	Min 90%

Sumber: *Spesifikasi Umum Bina Marga 2018*

### 2.11.2 Perhitungan dalam *Marshall*

Adapun dasar perhitungan yang menjadi acuan dalam penganalisisan data yaitu 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.

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

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

(Sumber: SNI 2441-2011)

#### 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

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

##### 2) Berat jenis semu

$$S_A = \frac{A}{(A-C)} \dots\dots\dots (2.3)$$

##### 3) Penyerapan air

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

##### 4) Berat jenis efektif

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

Keterangan :

- S<sub>d</sub> : Berat Jenis Kering  
 S<sub>a</sub> : Berat Jenis Semu  
 S<sub>w</sub> : Penyerapan Air  
 A : berat benda uji kering oven  
 B : berat benda uji jenuh kering permukaan  
 C : berat benda uji dalam air

(Sumber: SNI 1969-2008)

b. Agregat Halus

1) Berat jenis kering

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

2) Berat jenis semu

$$S_A = \frac{Bk}{(B+Bk-Bt)} \dots\dots\dots(2.7)$$

3) Penyerapan air

$$S_w = \left[ \frac{SSD-Bk}{Bk} \times 100\% \right] \dots\dots\dots(2.8)$$

4) Berat jenis efektif

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

Keterangan :

- S<sub>d</sub> : Berat Jenis Kering  
 S<sub>a</sub> : Berat Jenis Semu  
 S<sub>w</sub> : Penyerapan Air  
 B<sub>k</sub> : Berat pasir kering  
 B : Berat piknometer + air  
 B<sub>t</sub> : Berat piknometer + pasir + air  
 SSD: Berat pasir kering permukaan

(Sumber: SNI 1970-1990)

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 termasuk volume aspal yang diserap agregat). VMA dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$VMA = 100 - \frac{(100 - \%aspal) \times Berat\ Volume\ b.u}{B.J.Agregat} \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan :

VMA : Rongga udara pada mineral agregat (%)

%Aspal : Kadar aspal terhadap campuran (%)

B.J. Agregat : Berat jenis efektif

(Sumber: Panduan Praktikum Pemeriksaan Bahan Perkerasan Jalan:2004)

#### 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:

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

Berat jenis maksimum teoritis :

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

Keterangan :

VIM : Rongga udara pada campuran setelah pemadatan (%)

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

(Sumber: Panduan Praktikum Pemeriksaan Bahan Perkerasan Jalan:2004)

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

Rongga terisi aspal atau *Volume of 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. Rumus adalah sebagai berikut:

$$VFWA = 100 \times \frac{(VMA - VIM)}{VMA} \dots\dots\dots (2.13)$$

Keterangan :

VFWA : Rongga udara terisi aspal (%)

VMA : Rongga udara pada mineral agregat (%)



VIM : Rongga udara pada campuran seteah pepadatan (%)

(Sumber: Panduan Praktikum Pemeriksaan Bahan Perkerasan Jalan:2004).

## 6. Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan lapis keras dalam menahan beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk yang permanen, dinyatakan dalam kg. Pengukuran stabilitas dengan uji *Marshall* 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. Untuk nilai stabilitas, nilai yang ditunjukkan pada arloji perlu dikonversi terhadap alat *Marshall*. Hasil pembacaan di arloji stabilitas harus dikalikan dengan nilai kalibrasi proving ring yang digunakan pada alat *Marshall*. Pada penelitian ini, alat *Marshall* yang digunakan mempunyai nilai kalibrasi *proving ring* sebesar 11,9. Selanjutnya, nilai tersebut juga harus disesuaikan dengan angka koreksi terhadap ketebalan benda uji.

**Tabel 2. 7** Angka Koreksi Tebal Benda Uji

Tebal (mm)	Angka Koreksi
65,1	0,96
66,7	0,93
68,3	0,89
69,9	0,86
71,4	0,83
73,0	0,81
74,6	0,78
76,2	0,76

Sumber: RSNI M-01-2003

### 7. Kelelehan (*Flow*)

Flow atau kelelehan merupakan besarnya penurunan atau deformasi yang terjadi pada lapis aspal beton akibat menahan beban yang bekerja di atasnya. Nilai flow akan mempengaruhi fleksibilitas campuran. Nilai flow yang tinggi dan stabilitas rendah menunjukkan fleksibilitas campuran yang tinggi, jika nilai flow rendah dan nilai stabilitas tinggi menunjukkan campuran yang kaku dan getas (*brittle*), sedangkan campuran yang memiliki nilai *flow* yang tinggi dengan stabilitas rendah akan memiliki sifat plastis yang mengakibatkan campuran mudah berubah bentuk apabila menerima beban. 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:

$$MQ = \frac{MS}{MF} \dots\dots\dots (2.14)$$

Keterangan :

MQ : *Marshall Quotient* (kg/mm)

MS : *Marshall Stability* (kg)

MF : *Flow Marshall* (mm)

(Sumber: Panduan Praktikum Pemeriksaan Bahan Perkerasan Jalan:2004).

## 2.12 Penelitian Terdahulu

Adapun penelitian yang pernah dilakukan berkaitan tentang limbah batu bara *bottom ash* pada perkerasan jalan yaitu :

1. Patrick Andarias , “Pengaruh Penggunaan *Bottom Ash* Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Beton”. Skripsi, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Kristen Petra, Surabaya. Berdasarkan Hasil Penelitian diperoleh data :

Penggantian *bottom ash* terhadap F3 sebesar sepuluh sampai dengan 100 persen menghasilkan nilai stabilitas, void in mineral aggregate dan

marshall quotient yang memenuhi persyaratan lapis aspal beton untuk lalu lintas berat. Nilai *flow* yang dihasilkan juga memenuhi persyaratan, kecuali pada penggantian F3 dengan *bottom ash* sebesar 50% dan 60%. Nilai persentase *air void* 7,05%-17,64%, sedangkan persyaratan adalah 3%-5%. Pada penggantian sepuluh persen *bottom ash terhadap F3*, diperoleh nilai *air void* yang paling mendekati persyaratan yaitu 7,05 %.

Penggantian *bottom ash* terhadap F4 sebesar sepuluh sampai dengan 100 persen menghasilkan nilai stabilitas dan void in mineral aggregate yang memenuhi persyaratan lapis aspal beton untuk lalu lintas berat. Nilai *flow* yang dihasilkan memenuhi persyaratan, kecuali pada penggunaan *bottom ash* 90% dan 100%. Nilai persentase *air void* 6,65% 16,57%, sedangkan persyaratan adalah 3%5%. Nilai *Marshall Quotient* kurang memenuhi spesifikasi pada penggunaan *bottom ash* sepuluh sampai dengan 50 persen. Pada penggantian sepuluh persen *bottom ash* terhadap F4 diperoleh nilai *air void* yang paling mendekati persyaratan yaitu sebesar 6 ,65 %.

Penambahan *chemcrete* pada campuran dengan *bottom ash* meningkatkan nilai stabilitas, memperbaiki nilai *flow* serta persentase *air void*. Penggunaan *chemcrete* pada campuran dengan penggantian *bottom ash* sebesar sepuluh persen terhadap F4 memberikan hasil yang lebih baik daripada penggantian *bottom ash* sebesar sepuluh persen terhadap F3.

2. Ubay Nur,” Perkerasan Campura Lapisan Aspal Beton (*HRS-Base*) Dengan Material Laston.” Skripsi, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945, Samarinda. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, stabilitas dan *flow* pada lapis tipis aspal beton *HRS-Base* secara keseluruhan memenuhi syarat :

**Tabel 2. 8** Hasil Uji Marshall Gradasi Batas Tengah

Kadar Aspal (%)	Berat Isi (gr/cm <sup>3</sup> )	VMA (%)	VIM (%)	VFA (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	Marshall Quention (kg/mm)
7,0	2.386	19.672	4.179	78.889	985.467	3.44	282.21
Spesifikasi		Min.17	Min. 4-6	Min. 68	Min. 800	Min. 3	Min.250

**Tabel 2. 9** Hasil Uji Marshall Gradasi Batas Bawah

Kadar Aspal (%)	Berat Isi (gr/cm <sup>3</sup> )	VMA (%)	VIM (%)	VFA (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	Marshall Quention (kg/mm)
6,5	2.370	19.569	4.564	76.701	949.064	3.5	271.16
Spesifikasi		Min. 17	Min. 4-6	Min. 68	Min. 800	Min.3	Min.250

Dari hasil-hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa material lokal memiliki kualitas yang cukup bagus dan layak untuk digunakan sebagai lapisan pondasi (*HRS-Base*).

Pada pengujian *marshall* sisa untuk lapis tipis aspal beton *HRS-Base* dengan material lokal menggunakan dua metode yaitu perendaman 30 menit dan 24 jam dengan suhu 60°C untuk Variasi I dan Variasi 2.

Dari hasil percobaan maka dapat disimpulkan bahwa stabilitas marshall sisa pada lapis tipis aspal beton *HRS-Base* memenuhi spesifikasi yang ditentukan yaitu min.90%.

- Hawari Fadlan ; Lizar'' Analisis Pengaruh Penggantian Filler Abu Sawit Fly Ash Dan Bottom Ash Terhadap Karakteristik Perkerasan Lentur (Ac-Wc).'' Skripsi, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Politeknik Negeri Bengkalis, Riau. Berdasarkan Hasil Penelitian diperoleh data :

Pengujian spesifikasi karakteristik material telah memenuhi Standar Bina Marga PU. Tahun 2018. Stabilitas campuran fly ash dan bottom ash pada penelitian ini menunjukkan penurunan nilai dengan campuran abu batu. Disebabkan oleh kadar aspal efektif yang digunakan untuk kadar aspal efektif abu batu dan kurang maksimal terhadap material filler pengganti. Nilai flow yang dihasilkan dalam penelitian ini tidak memenuhi standarisasi dan nilai yang dihasilkan meningkat seiring dengan banyaknya presentasi fly ash dan bottom ash yang ditambahkan. Penggunaan kadar aspal efektif abu batu kurang maksimal terhadap material fly ash dan bottom ash. Nilai VMA fly ash menunjukkan peningkatan nilai sejalan dengan peningkatan variasi filler dan lebih mudah untuk dipadatkan dibandingkan dengan bottom ash . Penyerapan

aspal terhadap material filler bottom ash lebih menyerap dibandingkan dengan filler bottom ash yang berdampak pada penurunan nilai VFA, dapat disimpulkan penggunaan filler fly ash lebih baik dibandingkan bottom ash. Bottom ash lebih menunjukkan nilai rongga dalam campuran yang lebih tinggi, menyebabkan benda uji lebih mudah dimasuki oleh air dan penurunan nilai stabilitas. Tingginya nilai pada marshall quotient dapat di minimalisir dengan penambahan kadar aspal yang efektif terhadap material fly ash dan bottom ash sawit tersebut.