

BAB II

KAJIAN TEORI

2.1 Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan adalah lapisan yang meneruskan beban yang bekerja di atasnya ke tanah dasar dan mendukung aspek keamanan, kenyamanan, serta keawetan. Lapisan ini berhubungan langsung dengan kendaraan dan lingkungan. Lapisan ini berfungsi memberikan pelayanan kepada sarana transportasi dan diharapkan selama masa pelayanannya tidak terjadi kerusakan yang berakibat fatal.

Letak dan fungsinya memikul beban kendaraan menjadi alasan tidak semua lapisan perkerasan perlu menggunakan bahan pengikat, oleh karena itu lapisan perkerasan pada umumnya dibuat berlapis-lapis. Lapisan permukaan yang selalu menggunakan bahan pengikat dan lapis pondasi yang dapat atau tidak menggunakan bahan pengikat. Salah satu jenis perkerasan yang menggunakan bahan pengikat seperti aspal adalah beton aspal.

Menurut Sukirman (2003) beton aspal adalah jenis perkerasan jalan yang terdiri dari campuran agregat dan aspal, dengan atau tanpa bahan tambahan. Material-material pembentuk beton aspal dicampur dan di instalasi pencampur pada suhu tertentu, kemudian diangkat ke lokasi, dihamparkan, dan dipadatkan. Suhu pencampuran ditentukan berdasarkan dengan jenis aspal yang digunakan. Jika digunakan semen aspal, maka suhu pencampuran pada umumnya $145^{\circ} - 155^{\circ}$ C, sehingga disebut beton aspal campuran panas *Hot Mixed Asphalt* (HMA).

2.2 Lapisan Beton Aspal

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

Terdapat tujuh karakteristik campuran yang harus dimiliki oleh beton aspal antara lain:

1. Stabilitas

Stabilitas adalah kekuatan dari campuran aspal untuk menahan deformasi akibat beban tetap dan berulang tanpa mengalami keruntuhan. Jalan dengan volume lalu lintas tinggi dan sebagian besar merupakan kendaraan berat menuntut stabilitas yang lebih besar dibandingkan jalan yang volume lalu lintasnya hanya terdiri dari kendaraan penumpang saja. Stabilitas terjadi dari hasil getaran antar butir, penguncian antar partikel dan daya ikat yang baik dari lapisan aspal. Dengan demikian stabilitas yang tinggi dapat diperoleh dengan menggunakan penggunaan agregat bergradasi baik, rapat, dan mempunyai rongga antar agregat (VMA) yang kecil. Namun dengan VMA yang kecil akan menyebabkan pemakaian aspal yang lebih banyak, sehingga dapat menyebabkan *bleeding* karena aspal tidak dapat menyelimuti agregat dengan baik.

2. Durabilitas

Durabilitas adalah ketahanan campuran aspal terhadap pengaruh cuaca, air, perubahan suhu, maupun keausan akibat gesekan roda kendaraan. Durabilitas beton aspal dipengaruhi oleh tebalnya *film* atau selimut aspal, banyaknya pori dalam campuran, kepadatan dan kedap airnya campuran. Bersarnya pori yang tersisa dalam campuran setelah pemadatan, mengakibatkan durabilitas beton aspal menurun. Semakin besar pori yang tersisa semakin tidak kedap air dan semakin banyak udara dalam beton aspal, akan menyebabkan semakin mudahnya selimut aspal beroksidasi dengan udara menjadi gas.

3. Fleksibilitas

Fleksibilitas adalah kemampuan lapisan aspal untuk dapat mengikuti deformasi yang terjadi akibat beban lalu lintas berulang tanpa mengalami retak, ataupun penurunan akibat berat sendiri tanah timbunan yang dibuat di atas tanah asli.

4. Ketahanan Leleh

Ketahanan leleh merupakan kemampuan aspal beton untuk mengalami beban berulang tanpa terjadi kelelahan berupa retak atau kerusakan alur (*rutting*). Sifat ini akan didapat jika menggunakan kadar aspal yang tinggi.

5. Kekesatan

Kekesatan adalah kemampuan beton aspal untuk memberikan permukaan yang cukup kesat sehingga kendaraan yang melaluinya tidak mengalami slip, baik diwaktu jalan basah maupun kering. 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 ikut menentukan kekesatan permukaan. Untuk mencapai kekesatan yang tinggi perlu pemakaian kadar aspal yang tepat sehingga tidak terjadi *bleeding*.

6. Kedap Air

Kedap air adalah kemampuan beton aspal untuk tidak dimasuki air ataupun udara kedalam lapisan beton aspal. Air dan udara dapat mengakibatkan percepatan proses penuaan aspal, dan pengelupasan *film* aspal dari permukaan agregat. Jumlah pori yang tersisa setelah beton aspal dipadatkan saat menjadi indikator kedap air campuran. Tingkat kedap air beton aspal berbanding terbalik dengan tingkat durabilitasnya.

7. Kemudahan Pekerjaan

Sifat ini merupakan kemudahan campuran aspal untuk diolah. Faktor yang mempengaruhi workabilitas antara lain gradasi agregat, dimana agregat yang bergradasi baik lebih mudah dikerjakan.

Ketujuh sifat campuran beton aspal ini tidak mungkin dapat dipenuhi keseluruhannya oleh satu jenis campuran. Maka saat perencanaan awal, ditentukan terlebih dahulu sifat mana yang akan dominan lebih diinginkan, dan akan menentukan jenis beton aspal yang dipilih.

Sesuai dengan fungsinya Laston mempunyai 3 macam campuran, yaitu:

- a. Laston sebagai lapisan aus, dikenal dengan AC-WC (*Asphalt Concrete Wearing Course*). Tebal nominal minimum AC-WC adalah 4 cm.
- b. Laston sebagai lapisan pengikat, dikenal dengan AC-BC (*Asphalt Concrete Binder Course*). Tebal nominal minimum AC-BC adalah 6 cm.
- c. Laston sebagai lapisan pondasi, dikenal dengan AC-Base (*Asphalt Concrete Base*). Tebal minimum AC-Base adalah 7,5 cm.

Beton aspal yang baik perlu dilakukan perencanaan campuran. Diantaranya adalah:

- a. Data perencanaan

Data perencanaan yang harus diperhatikan adalah sebagai berikut:

1. Jenis agregat
2. Gradasi agregat
3. Mutu agregat
4. Jenis aspal keras
5. Rencana tebal lapisan
6. Jenis bahan pengisi (*filler*)

- b. Penentuan persentase aspal

Persentase aspal (dalam berat) yang akan ditambahkan pada agregat kering, ditentukan berdasarkan pemeriksaan laboratorium.

- c. Penggunaan kadar aspal dalam benda uji

Sebelum melakukan pembuatan benda uji perlu dilakukan penentuan kadar aspal yang akan digunakan. Kadar aspal dalam campuran dapat ditentukan dengan rumus sesuai pada persamaan (2.1).

$$KAA = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\% \textit{filler}) + K \quad (2.1)$$

dengan:

KAA = Kadar aspal acuan

CA = Persen agregat tertahan saringan No.8

FA = Persen agregat lolos saringan No.8 dan tertahan saringan No.200

Filler = Persen agregat minimal 75% lolos No.200

K = Konstanta

= 0,5 – 1,0 untuk LASTON

Laston juga harus memenuhi ketentuan sifat-sifat campuran seperti pada table 2.1

Tabel 2. 1 Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston (AC)

Sifat-sifat Campuran		Laston		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Fondasi
Jumlah tumbukan per bidang		75		112
Rasio partikel lolos ayakan 0,075mm dengan kadar aspal efektif	Min.	0,6		
	Maks.	1,2		
Rongga dalam campuran (%)	Min.	3,0		
	Maks.	5,0		
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Min.	15	14	13
Rongga Terisi Aspal(%)	Min.	65	65	65
Stabilitas Marshall (kg)	Min.	800		1800
Pelelehan (mm)	Min.	2		3
	Maks.	4		6
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60 °C	Min.	90		
Rongga dalam campuran (%) pada Kepadatan membal (refusal)	Min.	2		

Sumber: Bina Marga, 2018 Divisi 6.3

Fungsi campuran beton aspal sebagai lapisan permukaan jalan, antara lain adalah:

1. Sebagai pendukung beban lalu lintas.
2. Sebagai pelindung konstruksi dibawahnya dari kerusakan akibat pengaruh air dan cuaca.
3. Sebagai lapisan aus.
4. Menyediakan permukaan jalan yang rata dan tidak licin.

Lapisan beton aspal mempunyai sifat-sifat:

1. Tahan terhadap keausan akibat lalu lintas.
2. Kedap air.
3. Mempunyai nilai struktur.
4. Mempunyai stabilitas yang tinggi.
5. Peka terhadap penyimpangan, perencanaan, dan pelaksanaan.

Bahan LASTON terdiri dari agregat kasar, agregat halus, *filler*, dan aspal keras. Bahan harus terlebih dahulu diteliti mutu dan gradasinya. Penggunaan hasil pencampuran aspal dari beberapa pabrik yang berbeda tidak dibenarkan, walaupun jenis aspalnya sama.

2.3 Agregat

Agregat merupakan material berbutir keras yang terdiri dari beberapa jenis ukuran yang nantinya akan saling mengisi pada lapis campuran beton aspal. Agregat dapat terdiri dari butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lain . Agregat bisa berasal dari alam ataupun buatan yang berbentuk mineral padat berfragmen berukuran besar maupun kecil.

Agregat merupakan komponen utama dari lapisan perkerasan jalan yaitu mengandung 90-95% agregat berdasarkan persentase berat atau 75-85% agregat berdasarkan volume. Dengan demikian kualitas perkerasan jalan ditentukan juga dari sifat agregat dan hasil campuran dengan material lain (Sukirman S, 2016).

Penentuan sifat dan kualitas agregat yang baik harus diuji terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai struktur perkerasan jalan. Ada beberapa ketentuan yang diperuntukan bagi agregat diantaranya :

a. Agregat Kasar

Berupa batu pecah atau kerikil dalam keadaan kering dengan persyaratan pada tabel 2.2

Tabel 2. 2 Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian		Metoda Pengujain	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan	natrium sulfat	SNI 3407 : 2008	Maks. 12 %
	magnesium sulfat		Maks. 18 %
Abrasi dengan mesin Los Angeles	Campuran AC Modifikasi dan SMA	100 putaran	Maks. 6 %
		500 putaran	Maks. 30 %
	Semua jenis campuran beraspalbergradasi 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
	Lainnya		95/90
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%

Sumber: Bina Marga, 2018 Divisi 6.3

b. Agregat Halus

Agregat halus harus terdiri dari bahan-bahan yang berbidang kasar, bersudut tajam dan bersih dari kotoran-kotoran atau bahan-bahan yang tidak dikehendaki. Agregat halus harus dari terdiri dari pasir bersih, bahan-bahan halus hasil pemecahan batu atau kombinasi dari bahan-bahan tersebut dan dalam keadaan kering. Agregat halus harus memenuhi persyaratan pada tabel 2.3

Tabel 2. 3 Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Metoda Pengujian	Nilai
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 50 %
Uji Kadar Rongga Tanpa Pemasatan	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. 1 %

Sumber: Bina Marga, 2018 Divisi 6.3

c. *Filler*

Sebagai *filler* dapat dipergunakan abu batu kapur, abu batu atau semen portland. Perlu diperhatikan agar bahan tersebut tidak tercampur dengan kotoran atau bahan lain yang tidak dikehendaki dan dalam keadaan kering (kadar air maksimum 1%) serta berat jenis minimum 2%.

Selain ketentuan diatas ada beberapa sifat karakteristik agregat yang perlu ditinjau dalam perencanaan perkerasan jalan yaitu ukuran dan gradasi, kebersihan agregat, daya tahan agregat, bentuk dan tekstur agregat, daya lekat terhadap aspal, berat jenis dan penyerapan.

2.3.1. Ukuran dan Gradasi

Gradasi agregat adalah susunan butir agregat sesuai ukurannya. Gradasi agregat mempengaruhi besarnya rongga antar butir yang akan menentukan stabilitas dan kemudahan dalam proses perkerasan. Ukuran ayakan dalam ukuran Panjang menunjukkan ukuran bukaan, sedangkan nomor ayakan menunjukkan banyaknya bukaan dalam 1 inci panjang. Ukuran agregat ditentukan oleh lolos atau tertahannya agregat pada suatu ayakan. Ukuran tersebut berpengaruh terhadap kemudahan pengerjaan serta kepadatan campuran.

Pembagian agregat berdasarkan ukuran butir, yaitu:

- a. Agregat kasar adalah agregat yang ayakan 4,75mm (No.4).
- b. Agregat halus adalah agregat dengan ukuran butirnya lolos ayakan 4,75mm (No.4).
- c. Bahan pengisi (*filler*) adalah bagian dari agregat halus yang lolos ayakan No.200.

Ukuran dan bukaan saringan yang umum di pergunakan berdasarkan spesifikasi bina marga 2018 seperti pada Tabel 2.4

Tabel 2. 4 Ukuran Bukaan Saringan

Ukuran Ayakan		% Berat Yang Lolos terhadap Total Agregat							
		<i>Stone Matrix Asphalt (SMA)</i>			Laston (HRS)		Laston (AC)		
ASTM	(mm)	Tipis	Halus	Kasar	WC	Base	WC	BC	Base
1 ½ ”	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
⅜ ”	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: Binamarga, 2018 Divisi 6.3

Gradasi agregat menunjukkan penyebaran besarnya ukuran butir agregat dari kasar sampai halus. Gradasi agregat dapat dikelompokkan ke dalam agregat bergradasi baik dan agregat bergradasi buruk. Agregat bergradasi baik adalah agregat yang ukuran butirnya terdistribusi merata dalam satu rentang ukuran butir. Campuran agregat bergradasi baik mempunyai pori sedikit, mudah, dipadatkan, dan mempunyai stabilitas tinggi.

Berdasarkan ukuran-ukuran butir agregat yang dominan menyusun campuran agregat, 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 agregat kasar
- b. Agregat bergradasi halus, adalah agregat bergradasi baik dengan susunan ukuran menerus dari kasar sampai dengan halus, tetapi dominan berukuran agregat halus.

- c. Agregat bergradasi buruk merupakan agregat yang tidak memenuhi persyaratan gradasi baik. Agregat bergradasi buruk dapat dikelompokkan atas:
1. Agregat bergradasi seragam, adalah agregat hanya terdiri dari butir-butir agregat berukuran sama atau hampir sama. Campuran agregat ini mempunyai pori antar butir yang cukup besar, sehingga sering dinamakan juga agregat bergradasi terbuka.
 2. Agregat bergradasi terbuka, adalah agregat yang distribusi ukuran butirnya sedemikian rupa sehingga pori-porinya tidak terisi dengan baik.
 3. Agregat bergradasi sedang, adalah agregat yang distribusi ukuran butirnya tidak menerus, atau ada bagian ukuran yang tidak ada, jika ada hanya sedikit sekali.
- d. Secara umum terdapat perbedaan yang mendasar dari sifat campuran agregat bergradasi baik dan buruk seperti pada Tabel 2.5

Tabel 2. 5 Perbedaan Sifat Campuran Gradasi Agregat

Sifat	Bergradasi Buruk	Bergradasi Baik
Stabilitas	Buruk	Baik
Permeabilitas	Baik	Buruk
Tingkat Kepadatan	Buruk	Baik
Rongga Pori	Besar	Sedikit

Sumber: Sukirman S, 2016

Ukuran maksimum butir agregat dapat dinyatakan dengan mempergunakan:

1. Ukuran maksimum agregat, yaitu menunjukkan ukuran saringan terkecil dimana agregat yang lolos saringan tersebut sebanyak 100%.
2. Ukuran nominal maksimum agregat, menunjukkan ukuran saringan terbesar dimana agregat yang tertahan saringan tersebut tidak lebih dari 10%. Ukuran maksimum agregat adalah satu saringan atau ayakan yang lebih besar dari ukuran nominal maksimum.

2.3.2. Kebersihan Agregat

Kebersihan agregat ditentukan dari banyaknya butir-butir halus yang lolos saringan No.200 seperti adanya lempung, lanau, ataupun adanya tumbuh-tumbuhan pada campuran agregat. Jika dipergunakan sebagai bahan campuran beton aspal, akan menghasilkan beton aspal berkualitas rendah. Hal ini disebabkan material halus membungkus partikel agregat yang lebih kasar, sehingga ikatan antar agregat dan bahan pengikat yaitu aspa akan berkurang dan berakibt pula mudah lepasnya ikatan antara aspal dan agregat.

2.3.3. Daya Tahan Agregat

Daya tahan agregat adalah ketahanan agregat terhadap adanya penurunan mutu akibat proses mekanis ataupun kimiawi.

Degradasi didefinisikan sebagai kehancuran agregat menjadi partikel-partikel yang labih kecil akibat gaya yang diberikan pada waktu penimbunan, pemadatan, beban lalu lintas dan proses kimiawi seperti pengaruh kelembaban, kepanasan, dan perubahan suhu sepanjang hari.

Faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat degregasi yang terjadi sangat ditentukan oleh jenis agregat, gradasi campuran, ukuran partikel, bentuk agregat, dan besarnya energi yang dialami oleh agregat tersebut. Daya tahan agregat terhadap beban mekanis diperiksa dengan melakukan pengujian abrasi menggunakan alat abrasi Los Angles.

2.3.4. Bentuk dan Tekstur Agregat

Bentuk agregat mempunyai pengaruh terhadap konstruksi perkerasan, baik secara langsung maupun tidak langsung, yaitu:

- a. Mempengaruhi cara pengerjaan campuran.
- b. Mempengaruhi kekuatan perkerasan beraspal.

Bentuk partikel agregat dapat dibedakan atas:

1. Agregat berbentuk bulat (*rounded*), mempunyai bidang kontak antar agregat berbentuk bulat sangat sempit dan licin, hanya berupa titik singgung, sehingga menghasilkan penguncian antar agregat yang tidak baik, dan menghasilkan kondisi kepadatan lapisan perkerasan yang kurang baik. Jenis agregat ini sering dijumpai di sungai.
2. Agregat berbentuk lonjong (*elongated*), dapat ditemui di sungai atau bekas endapan sungai. Agregat dikatakan lonjong bila ukuran terpanjangnya $> 1,8$ kali diameter rata-rata. Sifat agregat ini hampir sama dengan agregat berbentuk bulat.
3. Agregat berbentuk kubus (*curbical*), merupakan agregat hasil pemecahan bat masif, 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 berbentuk kubus paling baik digunakan sebagai bahan konstruksi perkerasan jalan.
4. Agregat dikatakan berbentuk pipih (*flaky*), yaitu agregat yang ketebalannya lebih tipis dari 0,6 kali diameter rata-rata. Agregat ini mudah pecah pada waktu pencampuran, pemadatan, ataupun akibat beban lalu lintas.
5. Agregat berbentuk tak beraturan (*irregular*), tidak mengikuti salah satu bentuk yang disebutkan diatas. Bentuk ini, gaya gesekan yang timbul antar partikel tergantung dari luas bidang kontakannya.

Tekstur permukaan agregat dapat dibedakan atas licin, kasar atau berpori.

1. Agregat yang mempunyai permukaan licin menghasilkan daya penguncian antar agregat rendah, dan mempunyai tingkat kestabilan rendah.
2. Agregat yang mempunyai permukaan kasar mempunyai gaya gesek yang baik, ikatan antara butir agregat kuat, dan menghasilkan stabilitas lapisan yang baik.

3. Agregat berpori pada umumnya mempunyai tingkat kekasaran rendah, sehingga mudah pecah, dan terjadi degradasi.

Air yang terabsorpsi oleh agregat, sukar untuk dihilangkan seluruhnya walaupun melalui proses pengeringan. Hal ini mempengaruhi ikatan antara agregat dan aspal.

2.3.5. Daya Lekat Terhadap Aspal

Daya lekat agregat terhadap aspal adalah keadaan tarik menarik antara agregat dan aspal. Hal ini ditunjukkan oleh luas permukaan agregat yang tertutup aspal terhadap luas permukaan secara keseluruhan.

Daya lekat aspal terhadap agregat dipengaruhi oleh sifat agregat terhadap air. Menurut sifatnya terhadap air, agregat dapat dikelompokkan dalam agregat yang bersifat *hydrophilic* dan agregat yang bersifat *hydrophobic*. Agregat yang bersifat *hydrophilic* adalah agregat yang mudah terikat dengan air sehingga kurang baik sebagai bahan campuran, karena akan mudah terjadi lepasnya lapisan aspal dari agregat akibat pengaruh air. Sebaliknya agregat yang bersifat *hydrophobic* adalah agregat yang tidak mudah terikat dengan air sehingga ikatan antar aspal dengan agregat cukup baik.

2.3.6. Penyerapan

Penyerapan sangat mempengaruhi nilai ekonomis campuran. Agregat dengan daya serap yang tinggi akan terus menyerap aspal pada waktu aspal dan agregat di campur. Akibatnya hanya tersisa sedikit lapisan aspal pada permukaan agregat. Hal ini dapat menyebabkan terjadinya penebaran aspal, sehingga campuran menjadi getas. Sedangkan agregat yang berdaya serap rendah mengakibatkan terjadinya ikatan yang baik antar aspal dan agregat. Penyerapan agregat dapat diperkirakan banyaknya air yang terabsorpsi oleh agregat. Perhitungan untuk penyerapan ada 2 yaitu :

$$\text{Penyerapan agregat kasar} = \frac{(B_j - B_k)}{B_k} \times 100 \% \quad (2.2)$$

$$\text{Penyerapan agregat halus} = \frac{500 - B_k}{B_k} \times 100 \% \quad (2.3)$$

Dengan:

- B = Berat piknometer berisi air penuh (gram)
 B_a = Berat benda uji dalam air (gram)
 B_j = Berat benda uji kering permukaan (gram)
 B_k = Berat benda uji kering oven (gram)
 B_t = Berat piknometer dengan agregat dan penuh air (gram)
 500 = Berat benda uji dalam keadaan kering permukaan jenuh (gram)

2.3.7. Berat jenis

Berat jenis agregat adalah perbandingan antara berat volume agregat dan berat volume air. Nilai berat jenis agregat sangat penting dalam perencanaan campuran agregat dengan aspal, karena umumnya direncanakan berdasarkan perbandingan berat dan juga untuk menentukan banyaknya pori.

Agregat dengan berat jenis yang kecil mempunyai volume yang besar dengan berat yang sama membutuhkan jumlah aspal yang lebih banyak, disamping itu agregat dengan kadar pori besar membutuhkan jumlah aspal yang banyak.

Berat jenis agregat memiliki persyaratan sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga. Terdapat 4 macam berat jenis agregat (*specific gravity*), yaitu:

1. Berat jenis *bulk* (*bulk specific gravity*) adalah berat jenis dengan memperhitungkan berat agregat dengan keadaan kering dan seluruh volume agregat. Perhitungan berat jenis *bulk* ada 2, yaitu:

Perhitungan berat jenis *bulk* untuk agregat kasar:

$$G_{sb} = \frac{B_k}{(B_j - B_a)} \quad (2.4)$$

Perhitungan berat jenis bulk untuk agregat halus:

$$G_{sb} = \frac{B_k}{(B + 500 - B_t)} \quad (2.5)$$

2. Berat jenis kering permukaan (*saturated surface dry*), adalah berat jenis dengan memperhitungkan berat agregat dalam keadaan kering permukaan. Perhitungan berat jenis kering ada 2, yaitu:

Perhitungan berat jenis kering permukaan untuk agregat kasar:

$$G_{ssd} = \frac{B_j}{(B_j - B_a)} \quad (2.6)$$

Perhitungan berat jenis kering permukaan untuk agregat halus:

$$G_{ssd} = \frac{500}{(B + 500 - B_t)} \quad (2.7)$$

3. Berat jenis semu (*apparent specific gravity*), adalah berat jenis dengan memperhitungkan berat agregat dalam keadaan kering dan volume agregat yang tidak dapat diresapi oleh air. Perhitungan berat jenis *apparent* ada 2, yaitu:

Perhitungan berat jenis semu untuk agregat kasar:

$$G_{sa} = \frac{B_k}{(B_k - B_a)} \quad (2.8)$$

Perhitungan berat jenis semu untuk agregat halus:

$$G_{sa} = \frac{B_k}{(B + B_k - B_t)} \quad (2.9)$$

4. Berat jenis efektif (*effective specific gravity*), adalah berat jenis dengan memperhitungkan berat agregat dalam keadaan kering, jadi merupakan berat agregat kering, dan volume agregat yang tidak dapat diresap oleh aspal.

Nilai berat jenis agregat umumnya konstan untuk agregat campuran, karena hanya dipengaruhi oleh kemampuan aspal menyerap ke dalam pori dari masing-masing butir agregat.

Perhitungan berat jenis efektif ada 2, yaitu:

Perhitungan berat jenis untuk agregat kasar dan halus:

$$G_{se} = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2} \quad (2.10)$$

Perhitungan berat jenis untuk bahan pengisi (*filler*) yaitu:

$$\text{Berat jenis} = \frac{W_t}{W_5 - W_3} \quad (2.11)$$

Dengan:

B_j = Berat agregat dalam keadaan jenuh air kering permukaan (gr)

B_k = Berat agregat dalam keadaan kering (gr)

B_a = Berat agregat dalam keadaan jenuh air (gr)

W_t = Berat *filler*

W_t = $W_2 - W_1$

W_1 = Berat piknometer bersih dan kering (gr)

W_2 = Berat piknometer berisi benda uji (gr)

W_3 = Berat piknometer berisi benda uji dan penuh air (gr)

W_4 = Berat piknometer berisi penuh air (gr)

W_5 = $W_2 - W_1 + W_4$

Agregat yang digunakan harus memenuhi spesifikasi seperti pada tabel 2.2 dan 2.3

2.4. Aspal (Bahan Pengikat)

Aspal merupakan campuran dari bitumen dan mineral yang bersifat melekat (*adhesive*), atau sering juga disebut bitumen, hal tersebut disebabkan karena bahan dasar utama dari aspal adalah bitumen. Bitumen dapat berupa aspal, tar, atau *pitch*. Aspal merupakan material berwarna hitam atau coklat tua yang pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat dan dimanfaatkan sebagai

bahan pengikat pada campuran beraspal. Sebagai material yang bersifat termoplastis, aspal akan mencair jika dipanaskan sampai temperatur tertentu dan kembali membeku jika temperatur turun. Bersama dengan agregat, aspal merupakan material membentuk lapisan perkerasan.

Berdasarkan tempat diperolehnya aspal dibedakan atas aspal alam dan aspal minyak. Aspal alam adalah aspal yang didapat di suatu tempat jalan, dan dapat digunakan sebagaimana diperolehnya atau dengan sedikit pengolahan. Aspal minyak adalah aspal yang merupakan residu pengilangan minyak bumi.

Aspal alam dibagi menjadi dua jenis yaitu aspal danau, contoh aspal dari Bermudez, Trinidad. Aspal gunung, contoh aspal dari Pulau Buton.

Aspal alam yang terdapat di Indonesia dan yang telah dimanfaatkan, adalah aspal dari Pulau Buton. Aspal gunung itu umumnya cukup tahan lama dan bersifat stabil jika digunakan untuk lapisan perkerasan. Karena biaya pengangkutan yang besar, aspal ini sangat terbatas penggunaannya.

Aspal buatan dibagi menjadi dua jenis yaitu:

- a. Aspal minyak, merupakan hasil residu pengilangan minyak bumi.
- b. Tar, merupakan hasil penyulingan batu bara. Tar ini tidak umum digunakan untuk perkerasan jalan karena lebih cepat mengeras, peka terhadap perubahan temperatur dan beracun.
- c. *pitch* diperoleh sebagai residu dari destilasi fraksional tar.

Aspal minyak dapat dibedakan atas bahan dasarnya yaitu:

- a. Aspal minyak dengan bahan dasar aspal (*Asphaltic Base Crude Oil*).
- b. Aspal minyak dengan bahan dasar parafin (*Parafin Base Crude Oil*).
- c. Aspal minyak dengan bahan dasar campuran (*Mixed Base Crude Oil*).

Bahan dasar parafin dan bahan dasar campuran kurang mengandung bitumen, dimana kandungan kadar aspalnya rendah. Untuk perkerasan jalan, umumnya digunakan aspal yang diperoleh dari bahan dasar aspal minyak jenis *Asphaltic Base Crude Oil*.

Aspal minyak dengan bahan dasar aspal (*Asphaltic Base Crude Oil*), dapat dibedakan atas:

a. Aspal Padat (*Asphalt Cement*)

Aspal padat atau semen aspal adalah aspal yang berbentuk padat pada suhu ruang (25°C - 30°C). Jika aspal ini akan digunakan maka terlebih dahulu harus dipanaskan sampai mencapai suhu tertentu agar menjadi cair. Aspal dengan penetrasi rendah digunakan di daerah bercuaca panas atau lalu lintas dengan volume tinggi, sedangkan aspal dengan penetrasi tinggi digunakan untuk daerah bercuaca dingin atau lalu lintas dengan volume rendah. Indonesia pada umumnya menggunakan aspal semen dengan penetrasi 60/70 dan 80/100.

b. Aspal Cair (*Cut Back Asphalt*)

Aspal cair adalah campuran antara aspal padat dengan bahan pencair dari hasil penyulingan minyak bumi. Pada suhu ruang aspal ini berbentuk cair, sehingga dapat digunakan langsung tanpa adanya proses pemanasan.

c. Aspal Emulsi (*Emulsified Asphalt*)

Aspal emulsi adalah suatu campuran aspal dengan air dan bahan pengemulsi.

Aspal yang digunakan harus memenuhi spesifikasi seperti pada tabel 2.6

Tabel 2. 6 Ketentuan Aspal Keras

No.	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Type 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 2434-2011	≥ 100
6	Titik Nyala (°C)	SNI 2434-2011	≥ 232
7	Kelarutan dalam Trichloroethylene (%)	AASHTO T44-03	≥ 99
8	Berat Jenis	SNI 2441-2011	≥ 1,0

No.	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Tipe I Aspal Pen.60-70
9	Stabilitas Penyimpanan: Perbedaan Titik Lembek (°C)	ASTM D 5976 part 6.1	-
10	Partikel yang lebih halus dari 150 micron (μm) (%)	-	-
Pengujian Residu hasil TFOT (SNI-06-2440-1991) atau RTFOT (SNI-03-6835-2002)			
11	Berat yang Hilang (%)	SNI 06-2441-1991	$\leq 0,8$
12	Viskositas Dinamis 60°C (Pa.s)	SNI 03-6441-2000	≤ 800
13	Penetrasi pada 25°C (%)	SNI-06-2456-1991	≥ 54
14	Daktilitas pada 25°C, (cm)	SNI 2432-2011	≥ 100
15	Keelastisan setelah Pengembalian (%)	AASHTO T 301-98	-

Sumber: Bina Marga, 2018 Divisi 6.3

Ada beberapa sifat yang dimiliki olehaspal. Aspal mempunyai sifat adhesi sehingga dapat menarik molekul-molekul yang berlainan jenis. Sifat adhesi ini menyebabkan aspal dapat menempel pada agregat dan menyatukan partikel dalam campuran perkerasan.

Aspal juga mempunyai sifat kohesi yaitu daya tarik antara molekul-molekul yang sejenis. Sifat kohesi yang melekat pada agregat, menyebabkan agregat tetap pada tempatnya dan memberikan kekuatan tarik yang dapat menahan tegangan tarik akibat pembebanan. Sifat ini juga dibutuhkan untuk mengikat lapisan aspal yang lama.

Daya tahan aspal adalah kemampuan aspal untuk mempertahankan sifat aspalnya akibat pengaruh cuaca selama masa pelayanan. Sifat ini juga merupakan sifat campuran beraspal sehingga dipengaruhi pula oleh sifat-sifat agregat dan faktor-faktor pelaksanaan yang lain.

Aspal yang akan digunakan sebagai perkerasan jalan, berfungsi sebagai:

- a. Bahan pengikat, memberikan ikatan yang kuat antara aspal dan agregat, dan antara aspal itu sendiri.
- b. Bahan pengisi, mengisi rongga-rongga antara butiran agregat pada waktu penghamparan, sehingga tidak ada celah yang kosong yang dapat mengurangi kekuatan struktur jalan tersebut.
- c. Ada beberapa sifat dan karakteristik aspal yang perlu ditinjau dalam perencanaan perkerasan jalan yaitu berat jenis, titik lembek penetrasi viskositas titik nyala dan titik bakar, daktilitas dan indeks penetrasi.

1. Berat Jenis

Berat jenis adalah perbandingan antara berat aspal dan berat air suling dengan isi yang sama dan pada temperatur yang sama. Adapun rumus yang digunakan sebagai berikut :

$$\text{Berat Jenis} = \frac{\text{Berat Aspal}}{\text{Berat Isi Aspal}} \quad (2.12)$$

2. Titik Lembek

Titik lembek adalah suhu pada saat bola baja dengan berat tertentu mendesak turun suatu lapisan aspal yang bertahan dengan cincin berukuran tertentu, aspal tersebut menyentuh pelat dasar yang terletak di bawah cincin pada tinggi 25,4 mm akibat kecepatan pemanasan tertentu.

3. Penetrasi

Penetrasi merupakan kedalaman yang dapat dicapai oleh suatu jarum standar (diameter 1 mm) pada suhu 25° C, beban total 100 gram dengan berat jarum 50 gram dan pemberat 50 gram, dan selama waktu 5 detik dinyatakan dalam 0,1 mm. Pemeriksaan penetrasi aspal bertujuan untuk memeriksa tingkat kekerasan aspal.

4. Viskositas

Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan kekentalan kinematis dari aspal, minyak untuk jalan dan sisa destilasi aspal cair pada suhu 60°C dan aspal kekerasan pada suhu 135°C dalam batas-batas 30 – 100.000 cst (Centistokes).

5. Titik Nyala dan Titik Bakar

Titik nyala yaitu suhu pada saat terlihat menyala singkat di permukaan aspal. Titik bakar berguna untuk menentukan suhu dimana aspal terlihat menyala singkat di permukaan aspal (titik nyala), dan suhu pada saat terlihat nyala sekurang-kurangnya 5 detik.

6. Daktilitas

Pengujian daktilitas dilakukan untuk mengetahui sifat kohesi aspal dengan mengukur jarak terpanjang yang dapat ditarik antara dua cetakan yang terisi aspal keras sebelum putus, pada suhu dan kecepatan tertentu.

7. Indeks Penetrasi

Parameter pengukuran kepekaan aspal terhadap suhu adalah indeks penetrasi (*penetration index*) yang dihitung dengan menggunakan Rumus 2.13 sebagai berikut :

$$\frac{20 - IP}{10 + IP} = 50 \frac{\log Pen_{R \& B} - \log Pen_{25}}{T_{R \& B} - 25} \quad (2.13)$$

Dengan:

IP = Indeks Penetrasi

$T_{R \& B}$ = Suhu titik lembek aspal, °C

Pen 25 °C = Pen. Pada suhu 25 °C, pembebanan 100 gram

$PEN_{R \& B}$ = Pen pada suhu $T_{R \& B}$ pembebanan 100 gram, atau asumsi 800.

2.5 Limbah Las Karbit

Las merupakan salah satu cara untuk menyambungkan logam dengan menggunakan energi panas. Proses pengelasan banyak macam-macamnya, antara lain las busur listrik, las TIG, las MIG, las Submerged, las patri dan las gas. Las gas merupakan cara pengelasan dengan menggunakan atau memanfaatkan energi panas yang berasal dari proses pembakaran antara gas oksigen dan gas bahan bakar. Gas bahan bakar yang digunakan pada las gas dapat berasal dari gas karbit (asetelin), gas LPG (liquid petroleum gas), hydrogen dan lain-lainnya. Las karbit merupakan bagian dari las gas, pada las karbit gas yang digunakan untuk

pembakaran adalah menggunakan bahan bakar dari gas karbit atau asetelin. Pengertian las karbit (asetelin) adalah salah satu cara penyambungan logam dengan menggunakan energi panas yang berasal dari proses pembakaran antara gas karbit (asetelin) dan gas oksigen. Panas dari nyala api las asetelin ini nantinya digunakan untuk mencairkan sebagian logam induk guna untuk proses penyambungan logam agar terjadi ikatan yang kuat antara logam yang disambung.

Limbah las karbit adalah sisa pembakaran karbit. Limbah las karbit dapat pula meningkatkan kinerja aspal, yang dalam hal ini mempengaruhi karakteristik campuran seperti persen rongga dan ketahanan terhadap deformasi. Pada penelitian ini limbah las karbit tidak diperiksa kandungan kimianya, tetapi komposisi limbah las karbit yang digunakan menggunakan studi terdahulu.

Tabel 2. 7 komposisi limbah las karbit

Komposisi	Komposisi (%)
SiO ₂	SiO ₃
Fe ₂ O ₃	0,04
Al ₂ O ₃	3,2
CaO	72,33
Lain-lain	23,93

→ Kapur Tohor

Sumber: <http://repository.usu.ac.id>

Gambar sampel limbah laskarbit dapat dilihat pada Gambar 2.1 di bawah ini



(a) Limbah las karbit langsung dari bengkel

(b) Limbah las karbit murni (bersih)

Gambar 2. 1 Sampel limbah las karbit

2.6 Analisis Statistik ANOVA

Dalam sebuah penelitian, terkadang kita ingin membandingkan hasil perlakuan (treatment) pada sebuah populasi dengan populasi yang lain dengan metode uji hipotesis yang ada. Membandingkan satu rata-rata populasi dengan satu rata-rata populasi yang lain, selain memakan waktu, juga beresiko mengandung kesalahan yang besar. Untuk itu, kita memerlukan sebuah metode yang cepat dan beresiko mengandung kesalahan lebih kecil, yakni ANOVA (*Analysis of Variance*).

Anova merupakan salah satu dari berbagai jenis uji parametris, karena mensyaratkan adanya distribusi normal pada variabel terikat perlakuan atau distribusi normal pada residual. Syarat normalitas ini mengasumsikan bahwa sample diambil secara acak dan dapat mewakili keseluruhan populasi agar hasil penelitian dapat digunakan sebagai generalisasi. Namun keunikannya, uji ini dapat dikatakan relatif robust atau kebal terhadap adanya asumsi tersebut.

Anova digunakan sebagai alat analisis untuk menguji hipotesis penelitian yang mana menilai adakah perbedaan rata-rata antara kelompok. Hasil akhir dari analisis Anova adalah nilai F test atau nilai F hitung. Nilai F hitung ini yang nantinya akan dibandingkan dengan nilai f tabel. Jika nilai F hitung lebih dari F tabel, maka dapat disimpulkan bahwa menerima H1 dan menolak H0 atau yang berarti ada perbedaan bermakna rata-rata pada semua kelompok. Jenis-jenis Anova dibagi menjadi 3 yaitu:

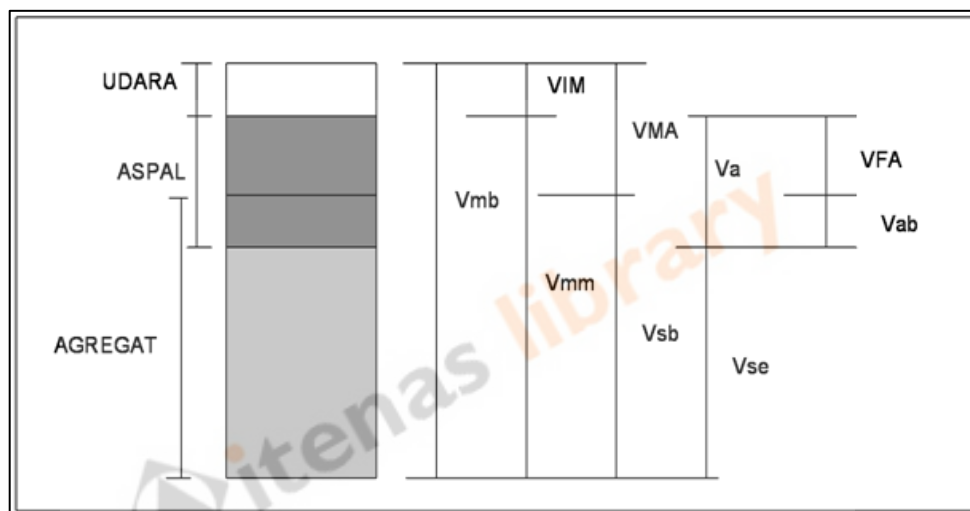
Univariate One Way Analysis of Variance. Apabila variabel bebas dan variabel terikat jumlahnya satu.

Univariate Two Way Analysis of Variance. Apabila variabel bebas ada dua sedangkan variabel terikat jumlahnya satu.

Univariate Multi Way Analysis of Variance. Apabila variabel bebas lebih dari dua sedangkan variabel terikat jumlahnya satu.

2.7 Pengujian Marshall

Pengujian *marshall* merupakan pengujian untuk memeriksa ketahanan campuran terhadap kerusakan yang disebabkan oleh air. Pegujian *marshall* dimaksudkan untuk menentukan ketahanan (*stabilitas*) dan kelelahan plastisitas (*flow*) dari campuran aspal dengan menggunakan parameter lainya seperti volume rongga dalam beton aspal padat (VIM), volume rongga diantara butir agregat (VMA), volume rongga beton aspal yang terisi oleh aspal (VFA). Volume dalam beton aspal dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Sumber: Sukirman S, 2012

Gambar 2. 2 Skema volume beton aspal
Melalui pengujian *marshall* dapat diperoleh parameter sebagai berikut:

1. Berat volume benda uji
2. Rasio nilai stabilitas dan kelelahan (*flow*)
3. Berat jenis *bulk* aspal padat (G_{mb})

Berat jenis *bulk* dapat dihitung dengan menggunakan Rumus 2.14

$$G_{mb} = \frac{B_k}{(B_{ssd} - B_a)} \quad (2.14)$$

dengan:

B_k = Berat kering beton aspal padat (gr)

B_{ssd} = Berat kering permukaan dari aspal yang telah dipadatkan (gr)

B_a = Berat aspal di dalam air (gr)

4. Berat jenis efektif agregat campuran (G_{se})

Berat jenis efektif agregat campuran dapat dihitung dengan menggunakan

Rumus 2.15

$$G_{se} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{e1}} + \frac{P_2}{G_{e2}} + \frac{P_3}{G_{e3}} + \dots + \frac{P_n}{G_{en}}} \quad (2.15)$$

dengan:

$P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ = Persentase berat masing-masing fraksi agregat terhadap berat total agregat campuran

$G_{e1}, G_{e2}, G_{e3}, \dots, G_{en}$ = Berat jenis efektif masing-masing fraksi agregat

5. Berat jenis *bulk* agregat campuran (G_{sb})

Berat jenis *bulk* agregat campuran dapat dihitung dengan menggunakan

Rumus 2.16

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{b1}} + \frac{P_2}{G_{b2}} + \frac{P_3}{G_{b3}} + \dots + \frac{P_n}{G_{bn}}} \quad (2.16)$$

dengan:

$P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ = Persentase berat masing-masing fraksi agregat terhadap total agregat campuran

$G_{b1}, G_{b2}, G_{b3}, \dots, G_{bn}$ = Berat jenis *bulk* dari masing-masing fraksi agregat

6. Berat jenis maksimum aspal yang belum dipadatkan (G_{mm})

Perhitungan berat jenis maksimum aspal yang belum dipadatkan dapat dihitung dengan Rumus 2.17

$$G_{mm} = \frac{100}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_a}{G_a}} \quad (2.17)$$

dengan:

P_a = Kadar aspal, % terhadap berat beton aspal padat

P_s = Kadar agregat, % terhadap berat beton aspal padat

G_a = Berat jenis aspal

G_{se} = Berat jenis efektif dari agregat pembentuk aspal porus padat

7. Volume rongga antara agregat dalam benda uji (VMA)

Volume rongga antara agregat dalam benda uji dapat dihitung dengan

Rumus 2.18

$$VMA = \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \times 100 \quad (2.18)$$

dengan:

G_{mb} = Berat jenis *bulk* dari beton aspal padat

G_{mm} = Berat jenis maksimum dari beton aspal yang dipadatkan

8. Volume rongga dalam campuran benda uji (VIM)

Volume rongga dalam campuran benda uji dapat dihitung dengan Rumus

2.19

$$VIM = \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \times 100 \quad (2.19)$$

dengan:

G_{mb} = Berat jenis *bulk* dari beton aspal padat

G_{mm} = Berat jenis maksimum dari beton aspal yang dipadatkan

9. Volume rongga antara butir agregat terisi aspal (VFA)

Volume rongga antara butir agregat terisi aspal dapat dihitung dengan

Rumus 2.20

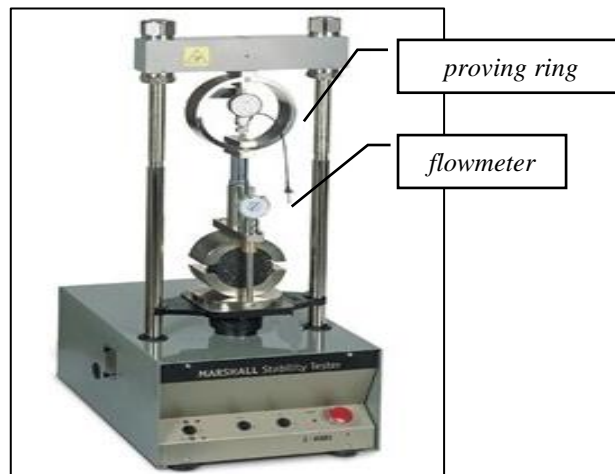
$$VFA = \frac{100 \times (VMA - VIM)}{VMA} \quad (2.20)$$

dengan:

VMA = Volume pori dalam antara agregat dalam benda uji

VIM = Volume pori dalam campuran benda uji

Alat Marshall merupakan alat yang dilengkapi cincin pengujian (*proving ring*) berkapasitas 22,2 kN dan *flowmeter* seperti pada Gambar 2.2 Pengujian menggunakan alat Marshall hanya dapat menentukan nilai stabilitas dan *flow*.



Gambar 2. 3 Alat Marshall

2.8 Penelitian Terdahulu

Penelitian telah dilakukan sebelumnya yang berkaitan dan berkesinambungan dengan penelitian ini antara lain:

1. Hasil Penelitian yang dilakukan oleh M.Muki Wiharto, (2015). Dengan judul "Studi Penggunaan Limbah Las Karbit Sebagai Substitusi Sebagian Aspal Pen 60" dengan presentase penggunaan limbah las karbit terhadap berat aspal 2,5 % dan 5 % mengalami perubahan nilai penetrasi yang cenderung menurun.
2. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Shezy Nurhayati Permana, (2016). Dengan judul "Studi Penggunaan Limbah Las Karbit Untuk Bahan Tambahan Pada Perkeraaan Laston Gradasi AC-WC" Nilai VMA pada campuran aspal karbit 2,5 %, dan 5 % lebih kecil dibandingkan dengan campuran aspal 0 %. Nilai stabilitas dipengaruhi oleh rongga VMA yang kecil yang mengakibatkan antara agregat yang cukup baik.
3. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Aryansyah, (2013). Dengan judul "Pengaruh Penggunaan Limbah Karbit Sebagai Filler Terhadap Karakteristik Mekanis Asphalt Concrete-Binder Course (AC-BC)", pada Universitas Haluoleo Kampus Hijau Bumi Tridharma Kendari.

Menunjukkan bahwa limbah las karbit dapat digunakan sebagai filler pada campuran AC-BC dan mempengaruhi campuran. Stabilitas terbaik didapat pada presentase limbah laskarbit sebesar 1,5%.

4. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Deni Saat Aardis, (2017). Dengan judul “Studi Pemanfaatan Limbah Las Karbit Untuk Bahan Tambah Pada Aspal Pen 60/70, Aspal Polymer TRS-55, dan Aspal ASBUTON, pada Universitas Narotama Surabaya. Limbah las karbit mampu menurunkan nilai penetrasi aspal.
5. Hasil penelitian yang dilakukan oleh N, Ridhwan Falih., Arifin,M.Z., & Bowoputro, H. (2018). Dengan judul “Pengaruh Variasi Kadar dan Panjang Serabut Kelapa Terhadap Karakteristik Marshall Pada Aspal Porus”. Penelitian tersebut menggunakan analisi Anova, berdasarkan hasil analisis *Multivariate* Anova, terdapat pengaruh interaksi dari kadar aspal, panjang serabut kelapa dan kadar sarabut kelapa terhadap nilai stabilitas dan marshall, tetapi tidak berpengaruh pada nilai VIM dan *flow*.
6. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Neli Nurlika, (2018). Dengan judul “Penggunaan Batu Kapur Kalipucang, Ciamis Pangandaran Sebagai Agregat Pada Beton Aspal Jenis AC-BC” dengan menggunakan 100% batu kapur sebagai agregat campuran memiliki nilai abrasi sebesar 39,39% sehingga memenuhi spesifikasi .