

BAB II

LANDASAN TEORI

1.7 Aspal

Aspal merupakan endapan pada proses distilasi minyak bumi dan sering digunakan sebagai bahan pengikat dengan kualitas serta jumlah aspal menjadi penentu keberhasilan campuran beraspal yang akan digunakan sebagai material perkerasan jalan dengan memiliki sifat fisis, berupa : viskositas, tahanan terhadap pelapukan yang disebabkan oleh iklim, termoplastis serta tahan terhadap air.

Aspal adalah material hidrokarbon yang pada temperatur ruang berbentuk padat, dan bersifat termoplastis. Aspal akan mencair jika dipanaskan hingga mencapai temperatur tertentu, dan akan kembali memadat pada saat temperatur 17 turun. Aspal Modifikasi adalah aspal yang terbentuk dari proses pencampuran atau ditambahkan aspal dengan bahan tambah (*additive*), yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas aspal dan memberikan kemudahan (*workability*). Bersama dengan agregat aspal merupakan material pembentuk campuran perkerasan jalan (Sukirman, 2003).

Tingkat penetrasi aspal yang biasa digunakan dalam campuran antara lain 40/50, 60/70 dan 80/100. Pada daerah beriklim panas sebaiknya aspal yang digunakan adalah aspal dengan indeks penetrasi yang rendah, agar aspal tidak menjadi lebih kaku dan mudah pecah (*brittle*). Dalam penelitian ini digunakan aspal penetrasi 60/70 dan dimodifikasi untuk meningkatkan kinerja dari aspal.

Tabel 2. 1 Persyaratan Aspal

No.	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Aspal Pen. 60/70	Aspal Modifikasi Anti Stripping
1.	Penetrasi 25° C (0,1 mm)	SNI – 2456:2011	60 - 70	-
2.	Daktilitas 25° C (cm)	SNI – 2432:2011	≥ 100	-
3.	Titik Nyala (°C)	SNI – 2433:2011	≥ 232	≥ 180
4.	Berat Jenis	SNI – 2441:2011	≥ 1,0	0,92 – 1,06

Sumber: Spesifikasi Bina Marga, 2018

i. Sifat Aspal

Menurut (Mashuri & Patunrangi, 2011) aspal mengandung senyawa kompleks berupa C (Carbon), H (Hydrogen), S (Sulfur/belerang), O₂ (Oksigen), dan N (Nitrogen) dengan persentase (82-88%), (8-11%), (0-6%), (0-1,5%), dan (0-1%). Menurut Sukirman (2016), aspal sifat aspal adalah daya tahan (durabilitas), sifat adhesi kohesi, kepekaan dan temperature, kekerasan aspal, dan viskoelastisitas aspal.

Sifat bahan penyusun aspal yaitu :

1. Asphaltene

Asphaltene adalah campuran kompleks berwarna kecoklatan, cenderung hitam dan termoplastis serta sangat polar, dengan rasio kadar H/C (hidrogen/karbon) adalah 1:1 serta mempunyai masa molekul yang besar berkisara 1000_{sd} 100.000 dan tidak terlarut n-hapten.

2. Maltene

Unsur penyusun yang dimiliki maltene adalah : resin, aromatis, dan saturate. Setiap unsur mempunyai bentuk dan kandungan kimia

ii. **Fungsi Aspal**

Adapun fungsi atau kegunaan aspal yaitu :

1. Aspal berfungsi sebagai bahan pelapis jalan dan bahan pengikat agregat.
2. Berfungsi untuk mengikat batu-batuan agar tidak terlepas dari permukaan jalan, baik disebabkan oleh beban lalu lintas maupun genangan air.
3. Aspal berfungsi sebagai bahan pengisi ruang kosong yang terdapat di antara susunan agregat kasar, halus dan folder.
4. Sebagai pengisi ruang yang kosong antara agregat kasar, agregat halus, dan *filler*.

1.8 Bahan Penyusun Perkerasan Jalan

Adapun bahan penyusun campuran beraspal meliputi :

Agregat didefinisikan sebagai batu pecah, kerikil, atau komposisi mineral lainnya, baik yang berupa hasil pengolahan (penyaringan, pecahan) yang merupakan bahan baku utama konstruksi perkerasan jalan. Agregat mengisi 90-95% berat campuran atau 75-85% volume campuran. Oleh karena itu perlu diperhatikan dengan baik kualitas agregat yang akan dipakai, yaitu dengan memperhatikan sifat-sifat dari agregat tersebut seperti gradasi dan ukuran butir, kebersihan, dan bentuk dan tekstur permukaan, kekuatan, dan porositas. Agregat terbagi dua, agregat kasar dan agregat halus :

1. Agregat Kasar

Agregat kasar adalah agregat yang butirannya lebih besar dari 5mm atau agregat yang semua butirannya dapat tertahan di ayakan 4,75 mm. Agregat kasar untuk aspal dapat berupa kerikil sebagai hasil dari disintegrasi dari batuan-batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari pemecahan manual atau mesin.

2. Agregat halus

Agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil disintegrasi secara alami dari batuan besar menjadi batuan butiran berukuran kecil. Agregat

halus adalah butiran halus yang memiliki kehalusan 2mm-5mm. Menurut SNI 02-6820-2002, agregat halus adalah agregat dengan butiran maksimum 4,76mm.

3. Filler

Filler adalah bahan untuk mengisi rongga agregat halus, dalam campuran beraspal panas walaupun mempunyai kadar sekitar 1% sampai dengan 2% namun sangat mempengaruhi sifat-sifat aspal sebagai pengikatnya. Partikel yang halus tersebut akan bereaksi terhadap sifat-sifat aspal. Diketahui bahwa *filler* yang banyak di pakai yaitu semen (*cement portland*), Semen banyak mengandung bahan kimia batu kapur, diketahui juga semen itu bersifat hidrasi artinya terhadap air akan menyerapnya dan bereaksi menjadi keras membatu.

4. Aspal

Aspal memiliki sifat termoplastik, yang mana akan menjadi keras jika 5 emperature berkurang dan akan menjadi lunak jika temperaturnya bertambah. Kegunaan dari aspal yaitu untuk mengikat antar agregat yang akan digunakan pada perkerasan jalan.

Tabel 2. 2 :Tebal Minimum Campuran Beraspal

Jenis Campuran		Simbol	Tebal Nominal Minimum (mm)
Stone Matrix Asphalt Tipis		SMA Tipis	3
Stone Matrix Asphalt-Halus		SMA Halus	4
Stone Matrix Asphalt-Kasar		SMA Kasar	5
Lataston	Lapis Aus	HRS-WC	3
	Lapis Pondasi	HRS-Base	3,5
Laston	Lapis Aus	AC-WC	5
	Lapis Antara	AC-BC	6
	Lapis Fondasi	AC-Base	7,5

Sumber : Spesifikasi Bina Marga (2018)

Gradasi agregat gabungan untuk campuran aspal, ditunjukkan dalam persen terhadap berat agregat dan bahan pengisi, harus memenuhi batas-batas yang diberikan dalam tabel.

1.9 Stone Matrix Asphalt (SMA)

Stone Matrix Asphalt (SMA) adalah campuran aspal panas yang terbentuk dari 2 bagian yaitu kerangka agregat kasar (*coarse aggregate skeleton*) dan campuran agregat halus, bahan pengisi (*filler*) dan bitumen dengan kadar yang relatif tinggi (*rich asphalt binder mortar*). Proporsi agregat kasar yang tinggi diikat oleh mastic (campuran agregat halus, filler, bahan tambah dan bitumen dalam proporsi besar), sehingga campurannya membentuk stone on stone skeleton contact (kontak langsung antar butiran-butiran agregat kasar) sehingga menjadi sebuah kerangka batuan yang efisien untuk penyebaran beban. Struktur butiran ini akan saling bertumpu dan membentuk satu kesatuan ikatan (*interlocking*) antara satu dan lainnya (AASHTO M 325-08 2012). Berikut kelebihan dari campuran SMA (Blazejowski 2016) :

1. Massa layak yang panjang
2. Ketahanan yang tinggi terhadap deformasi karena kandungan agregat kasar yang tinggi dan kerangka yang kuat dari partikel agregat yang saling bertautan
3. peningkatan umur kelelahan sebagai akibat dari kandungan pengikat yang lebih tinggi
4. peningkatan ketahanan aus lalu lintas dalam layanan karena adanya butiran agregat kasar yang keras
5. tekstur permukaan lapisan baik dan memiliki pori sehingga air yang terdapat di permukaan jalan dapat mengalir ke lapisan yang berada di bawahnya
6. dapat mengurangi kebisingan lalu lintas.

Lapisan SMA juga memiliki kelemahan yaitu :

1. ketahanan selip awal yang rendah
2. biaya campuran mahal dibandingkan beton aspal konvensional (biaya awal dapat
3. meningkat 10–20 persen karena kandungan pengikat, pengisi, dan stabilizer yang lebih tinggi, tetapi masa pakai perkerasan yang diperpanjang dapat menghasilkan pengurangan biaya siklus hidup
4. risiko terbentuk spot-spot aspal di permukaan akibat kesalahan atau variabilitas selama desain, produksi, atau konstruksi SMA

Berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018, terdapat 3 jenis SMA, yaitu:

1. SMA tipis, dimana ukuran partikel agregat maksimum yaitu 12,5 mm, toleransi tebal lapisan 2 mm dan tebal minimum 30 mm. Digunakan untuk pemeliharaan dan perbaikan setempat seperti perbaikan deformasi pada jalur roda ban (rutting) SMA halus, dimana ukuran partikel agregat maksimum yaitu 19 mm, toleransi tebal lapisan campuran 3 mm dan tebal minimum 40 mm. Digunakan untuk pelapisan overlay pada jalan lama
2. SMA halus, dimana ukuran partikel agregat maksimum yaitu 19 mm, toleransi tebal lapisan campuran 3 mm dan tebal minimum 40mm. Digunakan untuk pelapisan overlay pada jalan lama
3. SMA kasar, dimana ukuran partikel agregat maksimum pada campuran adalah 25 mm, toleransi tebal lapisan campuran 3 mm dan tebal minimum 50 mm. Digunakan untuk lapis aus (wearing course) pada jalan baru.

Tabel 2. 3 Gradasi Agregat Gabungan Untuk Campuran Beraspal

Ukuran ayakan		% Berat yang lolos terhadap Total Agregat							
		Stone Matrix Asphalt			Lataston		Laston		
		(SMA)			(HRS)		(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	0,6	12-18,			35-60	15-35	14-30	12-20.	10-22,
No.50	0,3	10-15,					9-22.	7-20,	6-115,
No.100	0,15						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

Bahan penyusun campuran beraspal SMA sama dengan bahan penyusun pada jenis perkerasan lainnya, terdiri dari agregat kasar, halus, filler dan bahan pengikat. Namun campuran SMA memiliki bahan penyusun utama lain yaitu bahan tambah (additive). Material penyusun Stone Matrik Asphalt (SMA) adalah (Tahir 2011) :

1. Agregat, merupakan material yang memiliki porsi paling besar yang digunakan dalam campuran SMA. Kandungan agregat pada

campuran SMA terdiri dari agregat kasar 75-80 persen dan agregat halus ± 14 persen dari komposisi total campuran

2. Aspal, berfungsi sebagai bahan pengikat yang mengikat agregat satu dengan agregat yang lain, sehingga agregat satu dengan yang lain dapat saling mengunci (tidak dapat terpisah).
3. Bahan pengisi, berfungsi untuk mengisi rongga-rongga udara yang terdapat dalam campuran. Kandungan filler pada campuran sma ± 10 persen dari komposisi campuran.
4. Bahan tambah, berfungsi untuk menstabilkan aspal serta meningkatkan durabilitas campuran SMA.

Kekuatan dari lapis Stone Matrix Asphalt (SMA) berasal dari kekuatan rangka agregat kasar (*skeleton contact*) dan rongga diantara agregat tersebut diisi oleh mastic dengan kadar bahan pengikat yang tinggi untuk memberikan durabilitas yang baik pada perkerasan. Apabila dibandingkan dengan jumlah bahan pengikat campurannya, luas permukaan dari butiran agregat penyusun campuran SMA masih terlalu kecil. Oleh sebab itu bahan pengikat yang tidak mengikat butiran-butiran agregat penyusun campuran atau tidak melekat pada permukaan butiran-butiran agregatnya, sehingga akan mengalir keluar dari campuran SMA.

Kondisi dimana bahan pengikat (aspal) akan mengalir atau terpisah sebagian dari campuran itu disebut dengan *draindown*. *Draindown* terjadi saat kondisi campuran SMA masih panas baik pada saat pengangkutan dan pelaksanaan penghamparan di lapangan, sehingga akan terbentuk spot-spot aspal pada permukaan perkerasan jalan yang telah selesai dikerjakan. Untuk mencegah atau mengurangi terjadinya *draindown*, campuran SMA membutuhkan bahan tambah yang ditambahkan ke dalam campuran yang berfungsi sebagai penstabil bahan pengikat (Blazejowski 2010). Bahan tambah yang berfungsi untuk menahan *draindown* dapat berupa serat selulosa, fiber atau polimer sehingga menghasilkan

campuran SMA lebih tahan terhadap deformasi, lendutan, retak, dan gelombang dari beban kendaraan serta keausan akibat roda kendaraan (Abdillah, Pradani, and Batti, 2018). Bahan tambah yang biasa digunakan dalam campuran SMA yaitu serat selulosa sintesis yang disebut Arbocell (Aminin, Hasanuddin, and Koesoemawati 2020). Selain arbocell, serat sintesis lain yang umum digunakan yaitu Viatop66 (Abdillah, Pradani, and Batti 2018).

1.10 Siput sawah atau tutut (*pila ampullacea*)

Merupakan hewan yang memiliki cangkang sebagai rumah atau tempat berlindung saat dirinya terancam bahaya. Tutut banyak di temukan di area persawahan. Karena hal inilah masyarakat sekitar menyebut siput ini dengan sebutan siput sawah Sudah sejak lama masyarakat yang tinggal di area perairan atau persawahan yang memanfaatkan siput sawah atau tutut ini di konsumsi. Walaupun bentuknya yang kecil, namun tutut memiliki gizi yang sangat tinggi. Selain memiliki gizi yang sangat tinggi tutut juga mempunyai manfaat yang sangat luar biasa. Sehingga masyarakat sekitar tidak ragu untuk mengomsumsinya.

Siput sawah atau tutut memiliki nama latin (*pila ampullacea*). Hewan ini termasuk dalam kelompok Operculata yang hidup di perairan dangkal dengan aliran air yang tenang atau lamban misalnya area persawahan, pinggiran danau, pinggir sungai, bahkan banyak juga di temukan di rawa-rawa. Walaupun siput sawa atau tutut suka hidup di daera persawahan namu tutut tidak suka dengan air yang kotor. Sehingga tutut jarang di jumpai melata atau tersembunyi di balik lumpur persawahan seperti jenis keong yang lain. Namun tutut tidak akan di temukan dengan mudah menempel pada batang atau ranting kecil yang ada di dalam air jernih.



Gambar 2. 1 Siput Sawah atau Tutut (*pila ampullacea*)

iii. **Ciri-ciri siput sawah atau tutut**

Siput sawah atau tutut ini diameternya 15-25 mm. Jika dilihat dari ukuran siput jenis ini lebih kecil bila di bandingkan dengan siput yang lain . Siput sawah ini memiliki cangkang yang berbentuk seperti kerucut membulat. Sedangkan warnanya mulai dari coklat kehitaman. Memiliki jumlah seluk sebanyak 6-7, sedikit cembung dan seluk yang terakhir memiliki ukuran yang lebih besar. Ujung cangkangnya lebih runcing dan menyiku tumpul pada siput sawah yang masi mudah.

Siput jenis ini memiliki bentu mulut yang membundar, tepinya bersambung dan tidak melebar umumnya memiliki warna hitam. Siput ini memiliki bentuk operculum yang agak bundar telur, agak cengkung dan tipis dan warna coklat kehitaman.

1.11 Serat kenaf dan fungsinya dalam Stone Matrix Asphalt - Kasar (SMA - Kasar).

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Serat Kenaf. Serat diurai dari bentuk anyaman sehingga menjadi serat yang teratur. Serat disusun secara teratur sehingga tersusun secara sejajar sebagai bahan serat komposit dengan fraksi volume 6 gram dari total berat campuran. Fungsi dari serat kenaf terhadap Stone Matrix Asphalt yaitu dapat menstabilkan tingkat ketinggian kadar aspal dan gradasi lepas aspal dengan tertutup aspal.



Gambar 2. 2 Serat Kenaf

Serat Kenaf merupakan hasil serat alami yang dihasilkan dari tanaman kenaf yang merupakan tanaman hari pendek (*short day plant*) berbentuk herba semusim yang merupakan penghasil utama serat dari kulit batangnya.

1.12 Metode Marshall

Metode Marshall bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari suatu perkerasan lentur yang metode marshall ini terdiri dari uji marshall, parameter dan formula perhitungan :

1. Pemeriksaan campuran pertama kali di perkenalkan oleh Bruce Marshall dan selanjutnya di kembangkan oleh *U.S Corps Of Engineer*. Pengujian marshal bertujuan untuk mengukur daya tahan(Stabilitas) campuran agregat dan aspal terhadap kelelahan plastis (*Flow*). Alat marshall yaitu alat tekan yang dilengkapi dengan *Proving ring* (Cincin penguj) Berkapasitas 22,2 kn (5000 lbs) dan *Flowmeter*. *Proving ring* digunakan untuk mengukur kelelahan plastis. Benda uji berbentuk slinder dengan diameter 10 cm dan tinggi 7,5 cm.dari proses persiapan benda uji sampai pemeriksaan dengan alat marshall, akan diperoleh data-data yaitu:

- a. Kadar aspal.
- b. Berat volume.
- c. Stabilitas,menunjukkan kekuatan dan ketahanan terhadap alur(*rutting*)

- d. Kelelahan plastis (*Flow*), merupakan indikator perkerasan terhadap lentur.
- e. Vim, persen rongga dalam campuran. VIM merupakan indikator dari durabilitas, kemungkinan bleeding.
- f. VMA, persen rongga agregat .VMA, VIM merupakan indikator durabilitas.
- g. Hasil bagi marshall (koefisien marshall, hasil bagi antara stabilitas dan *flow*) merupakan indikator kelenturan terhadap keretakan.
- h. Penyerapan aspal, memberikan gambaran berapa kadar aspal efektif.
- i. Tenal flim aspal, merupakan petunjuk durabilitas campuran.
- j. Kadar aspal efektif.

2. Parametaer Dan Formula Marshall

Sifat-sifat campuran beraspal dapat di lihat dari parameter-parameter pengujian marshall antara lain :

A. Berat Jenis Apparent Agregat

1. Agregat Kasar

BJ Bulk =

$$\frac{BK}{(BJ-BA)} \dots \dots \dots (2.1)$$

$$BJ \text{ Apparent (semu)} = \frac{BK}{(BK-BA)} \dots \dots \dots (2.2)$$

2. Agregat Halus

$$BJ \text{ Bulk } \frac{BK}{(B+500-Bt)} \dots \dots \dots (2.3)$$

$$BJ \text{ Apparent (semu)} = \frac{BK}{(B+BK-Bt)} \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana:

BK= berat benda uji kering oven (gr)

BJ=berat benda uji kering permukaan jenuh (SSD), (gr)

BA=berat benda uji dalam air (gr)

B=berat *picnometer* diisi air suhu 25°C

Bt=berat *picnometer* + benda uji SSD+air suhu 25°C

B. Berat Jenis Bulk Dan Apparen Total Agregat

Agregat total terdiri dari atas faksi agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi (*filler*) yang masing-masing mempunyai berat jenis yang berbeda, baik berat jenis kering (*bulk specific gravity*) dan berat jenis semu (*apparent gravity*).

C. Berat Jenis Efektif Agregat

Berat jenis maksimum campuran (G_{mm}) diukur dengan AASHTO T.209-90, maka berat jenis aktif campuran (G_{se}), kecuali rongga udara dalam partikel agregat yang menyerap aspal dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$G_{se} = (P_{mm} - P_b) / (P_{mm} / G_{mm} - P_b / G_b) \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana :

G_{se} = berat jenis efektif / *efektive specific gravity* (gr/cm^3)

G_{mm} = berat jenis campuran maksimum teoritis setelah pemadatan

P_{mm} = persen berat total campuran (%)

P_b = persentase kadar aspal terhadap total campuran (%)

G_b = berat jenis aspal (gm/cm^3)

D. Berat jenis maksimum campuran

Berat jenis maksimum campuran (G_{mm}) pada masing-masing kadar aspal diperlukan untuk menghitung kadar rongga masing-masing kadar aspal. Berat jenis maksimum dapat ditentukan dengan AASHTO T. 209-90. Ketelitian hasil uji terbaik adalah bila kadar aspal campuran mendekati kadar aspal optimum. Sebaliknya pengujian berat jenis maksimum dilakukan dengan benda uji sebanyak minimum dua buah (*duplikat*) atau tiga buah (*triplikat*).

E. Berat Jenis Bulk Campuran Padat

Perhitungan berat jenis bulk campuran setelah pemadatan (G_{mb}) dinyatakan dalam gram / cc dengan rumus sebagai berikut:

$$G_{mb} = \frac{B_k}{B_{ssd} - B_a} \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana:

G_{mb} = berat jenis Bulk campuran setelah pemadatan (gr/cm^3)

B = berat kering campuran (gr)

Gmb=berat kering permukaan dari campuran setelah pemadatan (gr)

Ba=berat campuran padat didalam air (gr)

Bssd - Ba=volume bulk campuran telah dipadatkan, berat jenis air(1 gr/cc)

F. Rongga Di Antara Mineral Agregat

Rongga antar mineral agregat (VMA) dihitung berdasarkan berat jenis bulk (Gsb) agregat dan dinyatakan adalah ruang rongga diantara partikel agregat pada suatu perkerasan, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat). Sebagai persen volume bulk campuran yang di padatkan. Perhitungan VMA terhadap campuran dengan rumus sebagai berikut:

1. Terhadap berat campuran total :

$$VMA = \left(100 - \frac{Gmb \times Ps}{Gsb} \right) \% \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana:

VMA=rongga udara pada mineral agregat, presentase dari volume total (%)

Gmb=berat jenis campuran setelah pemadatan (gr/cm³)

Gsb= berat jenis bulk agregat (gr/cm³)

Ps=kadar agregat, persen terhadap berat total campuran (%)

2. Terhadap berat agregat total :

$$VMA = \left(100 - \left(\frac{Gmb}{Gsb} \times \frac{100}{(100+Pb)} \right) 100 \right) \% \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana :

VMA =rongga udara pada mineral agregat, presentase dari volume total (%)

Gmb=berat jenis campuran setelah pemadatan (gr/cm³)

Gsb=berat jenis bulk agregat (gr/cm³)

Pb=kadar aspal, persen total campuran (%)

G. Rongga Dalam Campuran

Rongga udara dalam campuran (void in the compacted mixture) atau VIM dalam campuran perkerasan aspal terdiri atas ruang udara diantara partikel agregat yang terselimuti aspal. Volume rongga udara dalam campuran dapat ditentukan dengan rumus :

$$VIM = \left(100 \times \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \right) \% \dots \dots \dots (2.9)$$

Dimana :

VIM=rongga pada campuran setelah pemadatan, persentase dari volume total (%)

G_{mb}=berat jenis campuran setelah pemadatan (gr/cm³)

G_{mm} = berat jenis campuran maksimum teoritis setelah pemadatan (gr/cm³)

H. Rongga Udara Yang Terisi Aspal

Rongga terisi aspal (voids filled with asphalt) atau VFA adalah persen rongga yang terdapat diantara partikel agregat yang terisi aspal, tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat. Rongga terisi aspal ditentukan dengan rumus :

$$VFA = \frac{100 (VMA - VIM)}{VMA} \% \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana :

VFA= rongga udara yang terisi aspal, persentase dari VMA (%)

VMA= rongga udara pada mineral agregat, persentase dari volume total campuran (%)

I. Stabilitas

Nilai stabilitas adalah kemampuan maksimum aspal beton padat menerima beban sampai terjadi kelelahan plastis. Nilai ini diperoleh berdasarkan nilai yang ditunjukkan oleh jarum dial. Untuk nilai stabilitas, nilai yang ditunjukan pada jarum dial. Perlu dikonversikan terhadap alat marshall. Selain itu pada umumnya alat marshall yang digunakan bersatuan lbf (poud force), sehingga harus disesuaikan satuannya terhadap satuan kilogram, selanjutnya nilai tersebut juga harus disesuaikan dengan angka koreksi terhadap ketebalan atau volume benda.

Nilai stabilitas campuran dapat ditentukan dengan rumus :

$$S = O \times P \times Q \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana :

S = nilai stabilitas terkoreksi (kg)

O = hasil pembacaan pengujian marshall (kg)

P = faktor kalibrasi dari proving ring (1,911)

Q = faktor koreksi terhadap volume atau ketebalan benda uji

J. Kelelahan

Kelelahan (*flow*) adalah besarnya perubahan bentuk plastis dari aspal padat beton akibat adanya beban sampai batas keruntuhan. Sepertihalnya memperoleh nilai stabilitas seperti diatas, Nilai *flow* berdasarkan nilai masing-masing yang ditunjukkan oleh jarum dial. Hanya saja untuk alat uji jarum idial *flow* biasanya suda dalam satuan mm (milimeter) sehingga tidak perlu dikonversikan lebih lanjut.

K. Hasil Bagi Marshall

Hasil bagi marshall (*marshall qiotient*) atau MQ adalah hasil pembagian dari stabilitas dengan kelelahan. Sifat marshall tersebut dapat dihitung dengan menggnakan rumus berikut :

$$MQ =$$

$$\frac{MS}{MF} \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana :

MQ = marshall quotient (kg/mm)

MS = marshall stability (kg)

MF = flow marshall (mm)

1.13 Penelitian Terdahulu

Pada penelitian ini digunakan beberapa penelitian terdahulu yang sangat bermanfaat sebagai referensi yaitu sebagai berikut :

- Kartika Indah Sari (2021)
“Pengaruh Serbuk Abu Cangkang Kerang Sebagai Bahan Pengganti *Filler* Pada Campuran Aspal”

Dari hasil penelitian pengaruh penggantian sebagian filler cangkang kerang sebesar 15% dan 25% yang menunjukkan perubahan nilai stabilitas untuk campuran 15% sebesar 1192 kg dan 25% sebesar 1245 kg sedangkan Spesifikasi Kementrian Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga 2010 revisi 1 sebesar 800 kg telah memenuhi syarat spesifikasi.

- Andika (2020)

Nilai persentase serbuk kulit kerang optimum terhadap pada persentase 7,5% di karenakan semua persyaratan memenuhi parameter Marshall, nilai stabilitas 987,478 dengan nilai minimum 800, nilai keelehan 3,70 dengan nilai minimum 3, nilai MQ 266,738 dengan nilai minimum 250, nilai VMA 17,597 dengan nilai minimum 15, nilai VFB 71,958 dengan nilai minimum 65, dan nilai VIM 4,709 dengan nilai minimum 3,5 dan maximum 5,5. Hubungan antara variasi persentase serbuk kulit kerang dengan parameter Marshall, yaitu stabilitas, flow, vMA, dan VIM membentuk kecenderungan positif dengan seiring kenaikan persentase dari 0% sampai 7,5% namun menurut pada persentase 8,5% serbuk kulit kerang. semakin besar proporsi serbuk kulit kerang akan menurunkan nilai parameter Marshall.