

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian dan Lokasi Penelitian

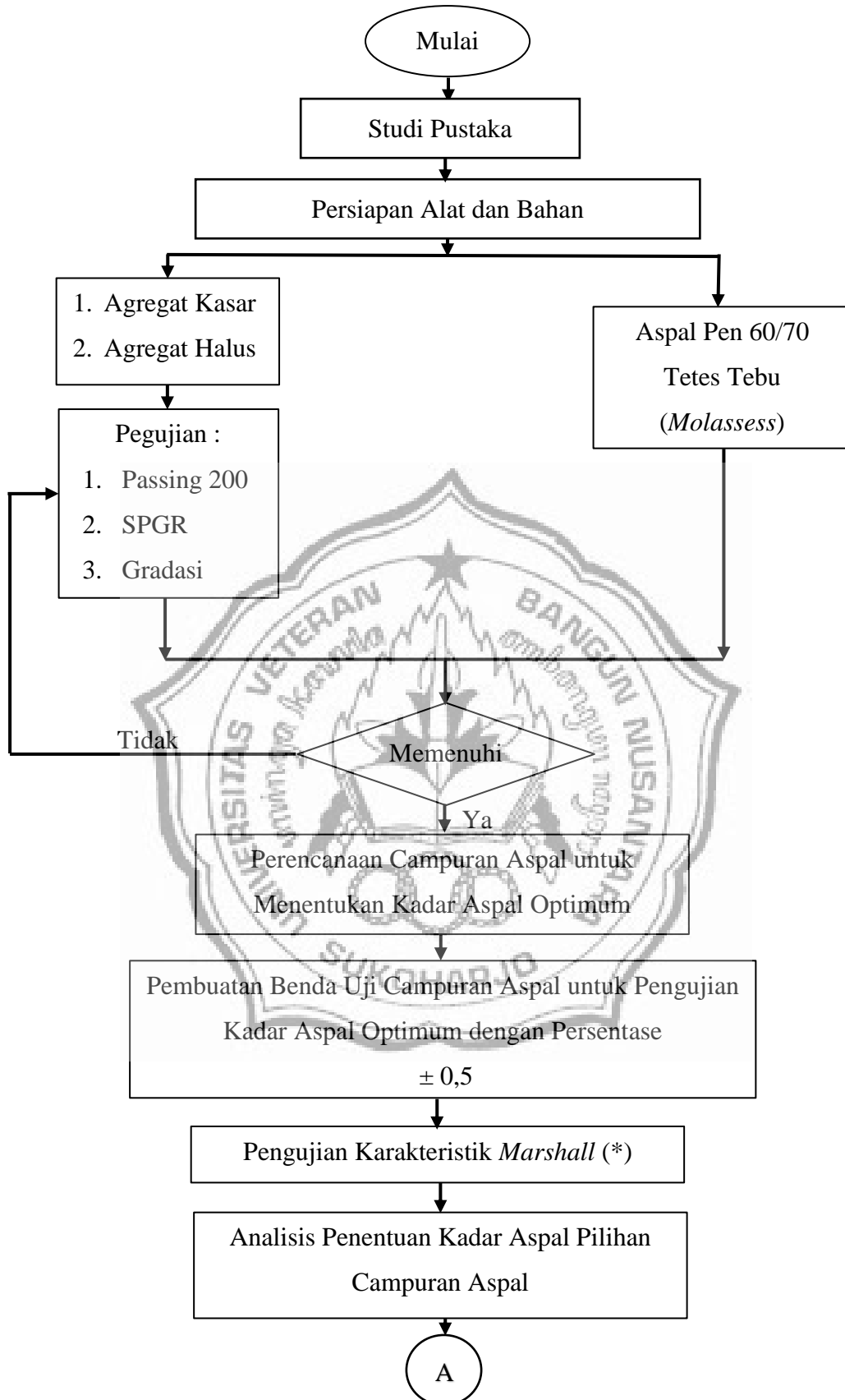
Penelitian dilakukan menggunakan metode studi eksperimental atau penelitian yang dilakukan dengan pendekatan saintifik dengan menggunakan dua variabel, yang dilaksanakan dengan pembuatan benda uji sesuai dengan spesifikasi yang berlaku serta menambahkan tetes tebu (*molasses*) dan limbah beton dengan persentase yang ditentukan dengan pertimbangan penelitian yang telah dilaksanakan.

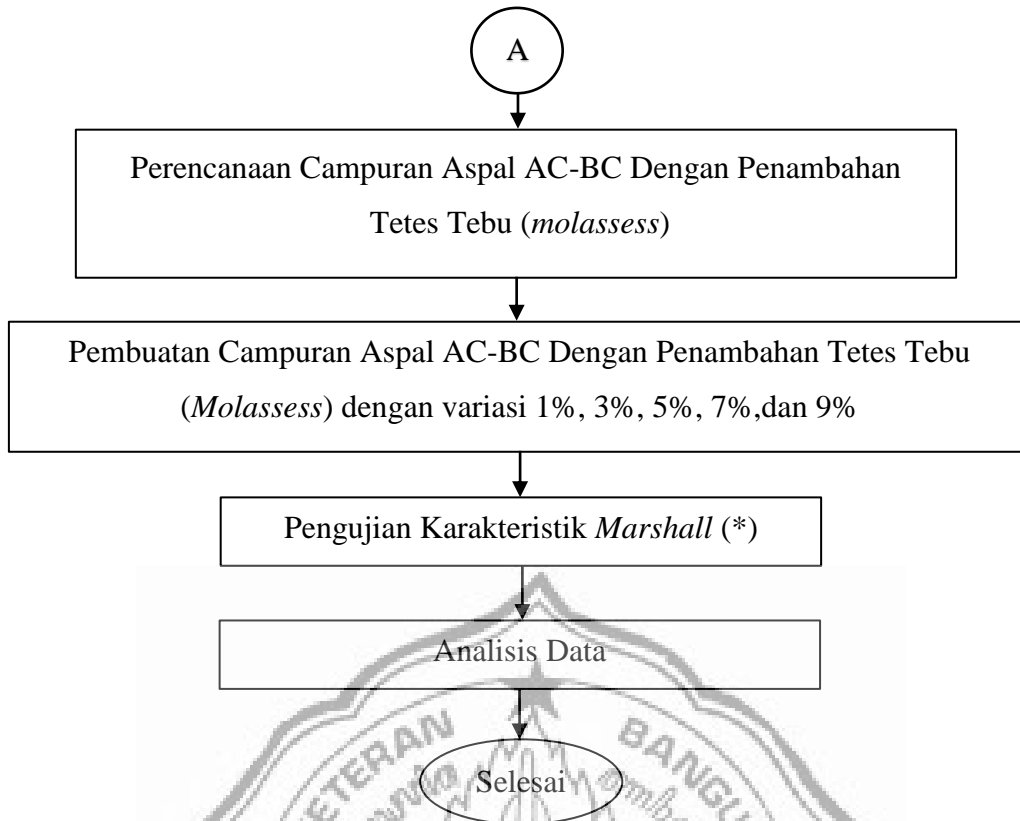
Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Veteran Bangun Nusantara Sukoharjo Jl. Letjend Sujono Humardani No.1, Gadingan, Jombor, Kec. Bendosari, Kabupaten Sukoharjo, Jawa Tengah. Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui ANALISIS PENGARUH TETES TEBU (Molasses) SEBAGAI CAMPURAN ASPAL dan LIMBAH BETON SEBAGAI PENGGANTI FILLER PADA CAMPURAN AC-BC (*Asphalt Concrete Binder Coarse*).

Penelitian ini dilakukan secara bertahap, untuk pengujian aspal tidak dilakukan pengujian dikarenakan keterbatasan alat. Pengujian dimulai dari pengujian agregat halus (lolos saringan No. #4, #8, #16, #30, #50, #100, dan tertahan saringan No. #200) serta pengujian agregat kasar (lolos saringan No. #1½", #1", #¾", #½", #¾", dan tertahan saringan No. #4). Pengujian agregat meliputi: analisis saringan, berat jenis dan penyerapan agregat. Pengujian selanjutnya adalah pada proses pengujian campuran beraspal menggunakan *marshall test*.

3.2 Diagram Penelitian

Tata urutan pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1 di bawah.





Gambar 3.1 Diagram Penelitian.

(*) Pengujian Karakteristik *Marshall*

1. VIM (*Void in Mix*)
2. VMA (*Void in Mineral Agregate*)
3. VFA (*Void Filled with Asphalt*)
4. *Flow* (Kelelehan Plastis)
5. Stabilitas
6. MQ (*Marshall Quotient*)

3.3 Material dan Alat Penelitian

Dalam pembuatan campuran beraspal lapis aus AC-BC material adalah bahan penyusun utama, material yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Aspal

Aspal yang digunakan berasal dari aspal Pertamina dengan nilai penetrasi 60/70. Aspal diperoleh dari Dinas PUPR Kabupaten Wonogiri. Bisa dilihat pada Gambar 3.2 di bawah ini:



Gambar 3.2 Aspal.

2. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari PT. Wira Bhakti Mulia Boyolali. Agregat Kasar dalam campuran beraspal lapis aus AC-BC dibedakan menjadi:

a. Agregat Kasar Ukuran 1-2

Agregat Kasar ukuran 1-2 merupakan agregat dengan ukuran, lolos saringan No. #1 (25,4 mm) dan tertahan saringan #1/2 (12,7 mm). Bisa dilihat pada Gambar 3.3 di bawah ini:



Gambar 3.3 Agregat Ukuran 1-2.

b. Agregat Kasar Ukuran 0,5

Agregat Kasar ukuran 0,5 merupakan agregat kasar dengan ukuran, lolos saringan No. #1/2 (12,7 mm) dan tertahan saringan No. #3/8 (9,5 mm). Bisa dilihat pada Gambar 3.4 di bawah ini:



Gambar 3.4 Agregat Ukuran 0,5.

3. Agregat Halus (Abu Batu)

Agregat Halus atau dalam penelitian ini menggunakan abu batu merupakan agregat dengan ukuran lolos saringan #3/8 (9,5 mm) atau tertahan saringan No. #4 (4,75 mm) sampai tertahan saringan No. #200 (0,075 mm). Agregat halus pada penelitian ini berasal dari PT. Wira Bhakti Mulia Boyolali. Bisa dilihat pada Gambar 3.5 di bawah ini:



Gambar 3.5 Agregat Halus (Abu Batu).

4. Bahan Pengisi (*Filler*)

Bahan Pengisi atau *filler* dalam penelitian ini menggunakan limbah beton. Limbah beton merupakan limbah hasil sisa pengujian benda uji PT. Merak Jaya Beton, Site Plant Pembangunan Bendungan Jlantah Karanganyar. Pada PT. Merak Jaya Beton, Site Plant Pembangunan Bendungan Jlantah Karanganyar material penyusun beton menggunakan semen tiga roda, pasir dan abu batu

diambil dari PT. Merak Jaya Beton sendiri, batu diambil dari CV. Sehati Wonogiri dan Batu Intan Wonogiri. Bisa dilihat pada Gambar 3.6 di bawah ini:



Gambar 3.6 Bahan Pengisi (*Filler*).

5. Tetes Tebu (*Molasses*)

Tetes Tebu (*Molasses*) yang digunakan dalam penelitian ini yang diperoleh dari sekitar Kabupaten Sukoharjo. Bisa dilihat pada Gambar 3.7 di bawah ini:



Gambar 3.7 Tetes Tebu (*Molasses*).

Dalam penelitian ini alat yang digunakan dapat dikelompokkan menjadi beberapa yaitu, alat pengujian agregat meliputi (pengujian berat jenis dan penyerapan material, serta pengujian keausan), dan alat pengujian karakteristik *marshall*. Adapun alat-alat tersebut antara lain:

1. Alat Pengujian Agregat

Alat-alat yang digunakan dalam pengujian berat jenis dan penyerapan agregat, antara lain:

a. Neraca Ukur / Timbangan

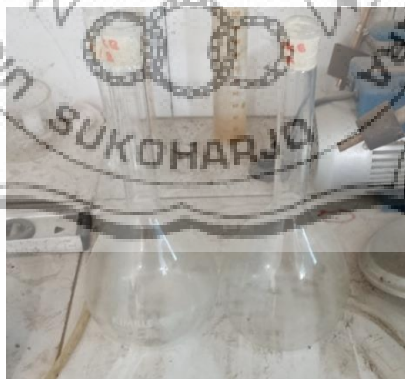
Neraca ukur/timbangan merupakan alat yang berfungsi untuk mengukur berat suatu benda. Dalam penelitian ini menggunakan timbangan digital dengan ketelitian 0.1 gram. Bisa dilihat di Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Neraca Ukur.

b. Piknometer

Piknometer merupakan alat yang berfungsi untuk mengukur nilai massa jenis dan densitas dari fluida agregat halus. Piknometer terbuat dari bahan kaca berbentuk bulat lonjong dengan ujung atas memiciut seperti labu dengan penanda batas air. Bisa dilihat pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9 Piknometer.

c. Satu Set Saringan

Saringan dalam penelitian ini digunakan untuk pengujian gradasi agregat. Adapun ukuran saringan menurut SNI 03-1968-1990, yaitu 37,5 mm (3"); 63,5 mm (2,5"); 50,8 mm (2"); 19,1 mm (0,75"); 12,5 mm (0,5"); 9,5 mm

(0,375”); No. #4 (4,75 mm); No. #8 (2,36 mm); No. #16 (1,18 mm); No. #30 (0,600 mm); No. #50 (0,300mm); No. #100 (0,150 mm); No. #200 (0,075 mm). Bisa dilihat pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Satu Set Saringan.

d. Oven

Oven merupakan alat berupa ruang termal terisolasi yang digunakan untuk memanaskan atau pengeringan suatu sampel, dalam penelitian ini oven digunakan untuk memanaskan *mold* dan juga untuk mengeringkan material. Bisa dilihat pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11 Oven.

e. Cawan

Cawan dalam penelitian ini digunakan sebagai wadah untuk agregat, bahan pengisi dan juga bahan tambah Bisa dilihat pada Gambar 3.12.



Gambar 3.12 Cawan.

2. Alat Pembuatan Benda Uji

Dalam proses pembuatan benda uji dibutuhkan alat-alat penunjang sebagai berikut:

a. Wajan dan Spatula

Dalam penelitian ini wajan digunakan untuk memanaskan campuran agregat maupun campuran beraspal. Bisa dilihat pada Gambar 3.13.



Gambar 3.13 Wajan dan Spatula.

b. *Thermogun*

Thermogun digunakan untuk mengetahui suhu ketika agregat dan campuran beraspal dipanaskan, batas suhu minimal menurut Spesifikasi Bina Marga 2018 adalah pemanasan agregat 120 °C dan untuk campuran beraspal yaitu 155 °C. Bisa dilihat pada Gambar 3.14.



Gambar 3.14 *Thermogun*.

c. *Mold*

Mold digunakan sebagai cetakan dalam pembuatan benda uji campuran beraspal, berbentuk lingkaran dengan bahan besi memiliki ukuran 4inch atau sekitar 101,6 mm dan tinggi 76,2 mm (SNI 06-2489-1991). Bisa dilihat pada Gambar 3.15.



Gambar 3.15 *Mold*.

d. *Compactor Hammer*

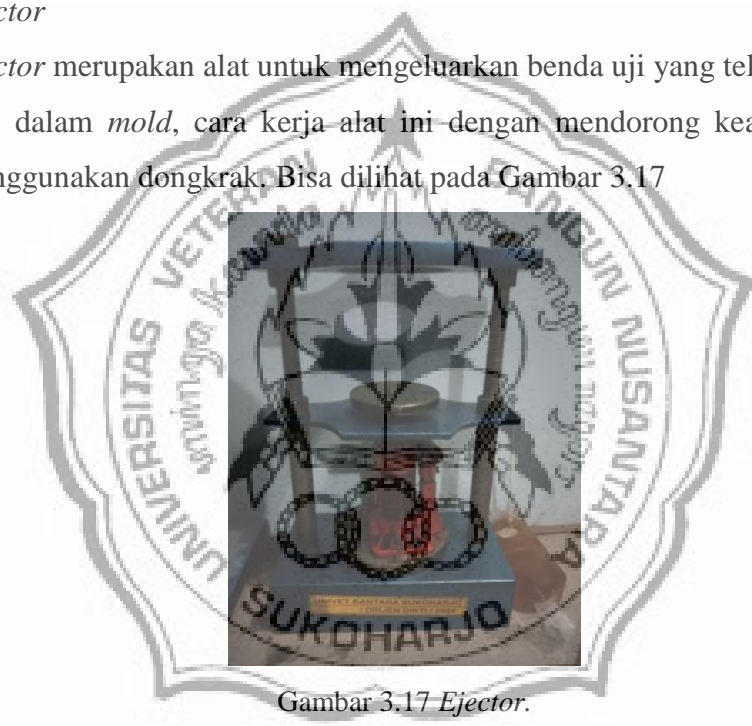
Compactor hammer merupakan alat yang digunakan untuk memadatkan campuran beraspal panas dalam *mold* secara otomatis dengan mesin. Berdasarkan SNI 06-2489-1991 alat penumbuk memiliki beban sebesar 10 pons atau sekitar 4,356 kg dengan tinggi jatuh bebas 45,7 cm. Pada penelitian ini campuran beraspal lapis aus AC-WC ditumbuk sebanyak 75 kali dalam satu sisi. Bisa dilihat pada Gambar 3.16



Gambar 3.16 *Compactor Hammer*.

e. *Ejector*

Ejector merupakan alat untuk mengeluarkan benda uji yang telah dipadatkan dari dalam *mold*, cara kerja alat ini dengan mendorong keatas benda uji menggunakan dongkrak. Bisa dilihat pada Gambar 3.17



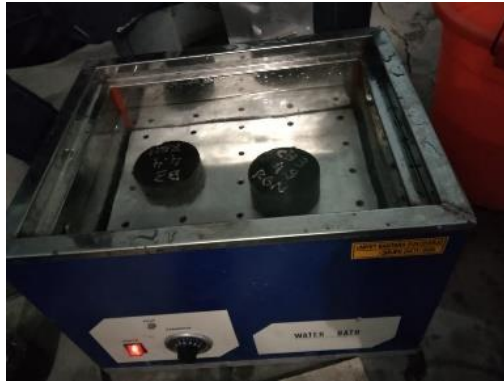
Gambar 3.17 *Ejector*.

3. Alat Pengujian *Marshall*

Serangkaian pengujian *marshall* memerlukan alat penunjang, meliputi:

a. *Waterbath*

Waterbath merupakan alat berbentuk wadah yang berisi air yang telah dipanaskan dengan suhu $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ secara konstan dari air, digunakan untuk memanaskan benda uji sebelum dilakukan pengujian dengan alat *marshall*. Bisa dilihat pada Gambar 3.18.



Gambar 3.18 *Waterbath*.

b. Alat Uji *Marshall* / *Marshall Test Machine*

Alat uji *Marshall* merupakan alat kuat tekan yang dilengkapi dengan cincin penguji (*proving ring*) yang dilengkapi dengan arloji pengukur berkapasitas 22,2 kN atau sama dengan 5000 lbf untuk menentukan stabilitas campuran dan *flowmeter* untuk menentukan kelelahan praktis (*flow*). Dalam mesin ini dilengkapi dengan kepala penekan yang terbuat dari besi tebal dengan bentuk setengah lingkaran dan dua buah besi tegak sebagai penghubung, kepala penekan ini berfungsi untuk meletakkan benda uji setelah direndam dalam *waterbath* yang kemudian akan ditekan. Bisa dilihat pada Gambar 3.19.



Gambar 3.19 Alat Uji *Marshall*.

3.4 Langkah Pengujian

Pengujian dilakukan secara berurutan mulai dari pengujian material sampai pengujian karakteristik *marshall*, pengujian karakteristik material bertujuan untuk mengetahui sifat material yang digunakan, pengujian yang dilakukan antara lain:

1. Pengujian (*Passing* 200)

Pengujian *passing* 200 atau pengujian bahan yang lebih halus dari saringan No.200 (0,075 mm), dalam agregat pencucian merupakan butiran lumpur ataupun agregat lain yang tersebar oleh air pencucian, sebagaimana bahan-bahan lain yang larut dalam air akan terpisah dari agregat selama pencucian. Kehilangan massa dari hasil pencucian dihitung dalam bentuk persentase (%). Kentuaan material lolos ayakan no.200 bisa dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Ketentuan Material Lolos Ayakan No. 200

No	Jenis Pengujian	Acuan	Persyaratan		Satuan
			Min	Maks	
1	Agregat Kasar Lolos Ayakan No. 200	SNI ASTM C117:2012	-	1	%
2	Agregat Halus Lolos Ayakan No.200	SNI ASTM C117:2013	-	10	%

Langkah-langkah pengujian material lolos ayakan 200 (*passing* 200) adalah sebagai berikut:

- a. Menyiapkan material yang akan dilakukan pengujian lalu timbang material menggunakan timbangan digital dengan berat meliputi:
 - 1) Agregat Kasar Ukuran 1-2 massa minimal 2.500 gram.
 - 2) Agregat Kasar Ukuran 0,5 massa minimal 1.000 gram.
 - 3) Agregat Halus massa minimal 300 gram.
- b. Mencuci material atau agregat menggunakan air bersih dan menyaring air cucian menggunakan saringan No. 200 (0,075 mm) supaya bahan yang tertahan saringan No. 200 tidak terbuang.
- c. Mengeringkan material atau agregat menggunakan oven.
- d. Menyaring material atau agregat menggunakan saringan No. 200 (0,075 mm).

- e. Menimbang material atau agregat yang telah dilakukan pencucian.
2. Pengujian *Specific Gravity and Arbsoption*
- Pengujian *Specific Gravity and Arbsoption* bertujuan untuk menentukan berat jenis dan penyerapan material dengan ketentuan yang digunakan sebagai berikut ini pada Tabel 3.2 berikut ini:

Tabel 3.2 Ketentuan Pengujian *Specific Gravity and Arbsoption*

No	Jenis Pengujian	Acuan	Persyaratan		Satuan
			Min	Maks	
1	Berat Jenis Agregat Kasar	SNI 03-1969-1990	2,5	-	gr/cc
2	Berat Jenis Agregat Halus	SNI 03-1970-1990	2,5	-	gr/cc
3	Berat Jenis Aspal	SNI 2441-2011	1	-	gr/cc
4	Penyerapan Agregat Kasar	SNI 03-1969-1990	-	-	gr/cc
5	Penyerapan Agregat Halus	SNI 03-1970-1990	-	3	gr/cc

a. *Specific Gravity and Arbsoption* Agregat Kasar

Langkah-langkah dalam pengujian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Menyiapkan agregat kasar dan rendam selama ± 24 jam.
- 2) Meniriskan agregat kasar hingga permukaannya kering atau SSD.
- 3) Menimbang agregat kasar dalam keadaan SSD sebanyak 2500 gram.
- 4) Memasukkan agregat kasar kedalam alat uji dalam air.
- 5) Menimbang agregat kasar dalam air.
- 6) Meniriskan agregat kasar dan oven selama ± 24 jam.
- 7) Menimbang agregat kasar kering.

b. *Specific Gravity and Arbsoption* Agregat Halus

Langkah-langkah dalam pengujian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Merendam agregat halus selama ± 24 jam.
- 2) Meniriskan agregat halus dan dihampar sampai permukaannya kering atau SSD.
- 3) Meeriksa SSD agregat halus dengan alat kerucut kuningan.
- 4) Menimbang agregat halus SSD sebanyak 500 gram.

- 5) Menimbang piknometer kosong.
- 6) Menimbang piknometer + air sampai batas bacaan.
- 7) Memasukkan agregat halus 500gram ke dalam piknometer.
- 8) Mengocok piknometer sampai tidak ada udara yang terperangkap dalam agregat halus.
- 9) Menambahkan air kedalam piknometer sampai batas bacaan.
- 10) Mendinginkan piknometer selama \pm 24 jam.
- 11) Menimbang piknometer + air + agregat halus.

3. Pengujian Analisis Saringan

a. Pengujian Analisis Saringan Agregat Kasar

Langkah-langkah dalam pengujian analisis saringan agregat kasar adalah sebagai berikut:

- 1) Memanaskan agregat kasar ke dalam oven untuk mendapatkan berat tetap.
- 2) Menimbang agregat kasar seesar $>$ 2500 gram.
- 3) Menyiapkan satu set saringan yang berurutan.
- 4) Menuangkan agregat kasar dari saringan dari urutan teratas.
- 5) Menggoyangkan susunan saringan selama 15 menit.
- 6) Menimbang agregat yang tertahan pada setiap nomor saringan.

b. Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus

Langkah-langkah dalam pengujian analisis saringan agregat halus adalah sebagai berikut:

- 1) Mengoven agregat halus untuk mendapatkan berat tetap.
- 2) Menimbang agregat halus seesar $>$ 2500 gram.
- 3) Menyiapkan satu set saringan yang berurutan.
- 4) Menuangkan agregat halus dari saringan dari urutan teratas.
- 5) Menggoyangkan susunan saringan selama 15 menit.
- 6) Menimbang agregat yang tertahan pada setiap nomor saringan.

3.5 Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji dibagi menjadi dua bagian yaitu, pembuatan benda uji untuk menentukan kadar aspal optimum dan pembuatan benda uji dengan

penambahan tetes tebu (*molasses*). Langkah-langkah pembuatan benda uji dilakukan sebagai berikut:

1. Pembuatan benda uji untuk menentukan kadar aspal optimum

Langkah-langkah Pembuatan benda uji untuk menentukan kadar aspal optimum sebagai berikut:

- a. Menentukan *desain mix formula* untuk menentukan variasi penentuan kadar aspal optimum.
- b. Mengoven material untuk mendapatkan berat tetap.
- c. Menimbang agregat kasar, agregat halus, serta *filler* sesuai *desain mix formula*.
- d. Menyiapkan alat untuk memanaskan material (kompor, gas, penggorengan, spatula).
- e. Memanaskan material sampai suhu 120 °C.
- f. Memanaskan aspal sampai suhu 110 °C.
- g. Menuangkan aspal ke dalam material panas sesuai dengan *desain mix formula*.
- h. Mengaduk dan memanaskan campuran aspal hingga campuran homogen hingga suhu 155 °C.
- i. Memanaskan *mold* yang sudah diolesi pelumas.
- j. Meletakkan *mold* pada mesin penumbuk.
- k. Memberikan kertas kalkir dibagian bawah *mold* sebagai alas.
- l. Menuangkan campuran aspal panas kedalam *mold*.
- m. Merojok campuran beraspal sebanyak 25 kali.
- n. Menumbuk campuran aspal panas dengan alat penumbuk sebanyak 75 kali dalam satu sisi.
- o. Membalik *mold*.
- p. Menumbuk sebanyak 75 kali pada sisi yang lain.
- q. Melepas *mold* dari mesin penumbuk dan mendinginkan hingga mencapai suhu ruang.
- r. Mengeluarkan benda uji dengan alat *ejector*.

2. Pembuatan benda uji dengan penambahan tetes tebu (*molasses*).

- a. Menentukan *desain mix formula* untuk menentukan variasi penambahan Tetes Tebu (*molassess*).
 - b. Mengoven material untuk mendapatkan berat tetap.
 - c. Menimbang agregat kasar, agregat halus, *filler*, serta bahan tambah Tetes Tebu (*molassess*) sesuai *desain mix formula*.
 - d. Menyiapkan alat untuk memanaskan material (kompor, gas, penggorengan, spatula).
 - e. Memanaskan material sampai suhu 120 °C.
 - f. Memanaskan aspal sampai suhu 110 °C.
 - g. Menungkan aspal ke dalam material panas sesuai dengan *desain mix formula*.
 - h. Mengaduk dan memanaskan campuran aspal hingga campuran homogen hingga suhu 155 °C.
 - i. Memanaskan mold yang sudah diolesi pelumas.
 - j. Meletakkan mold pada mesin penumbuk.
 - k. Memberikan kertas dibagian bawah *mold* sebagai alas.
 - l. Menuangkan campuran aspal panas kedalam *mold*.
 - m. Merojok campuran beraspal sebanyak 25 kali.
 - n. Menumbuk campuran aspal panas dengan alat penumbuk sebanyak 75 kali dalam satu sisi.
 - o. Membalik *mold*.
 - p. Menumbuk sebanyak 75 kali pada sisi yang lain.
 - q. Melepas *mold* dari mesin penumbuk dan mendinginkan hingga mencapai suhu ruang.
 - r. Mengeluarkan benda uji dengan alat *ejector*.
3. Pengujian Karakteristik *Marshall*
- Langkah-langkah pengujian karakteristik *marshall* adalah sebagai berikut:
- a. Menimbang berat kering benda uji.
 - b. Menimbang berat dalam air benda uji dengan alat uji berat dalam air.
 - c. Mengeringkan benda uji sampai permukaannya kering sehingga mendapatkan berat kering permukaan (SSD).
 - d. Menyiapkan alat uji *marshall*, dan *waterbath*.

- e. Merendam benda uji pada waterbath dengan suhu konstan 60 °C selama 30 menit.
- f. Menaruh benda uji setelah variasi perendaman terpenuhi pada kepala penekan dan meletakkan pada alat *marshall*.
- g. Meletakkan *flow* pada alat uji *marshall* dan mengatur dial tepat di titik nol.
- h. Mengoperasikan alat uji *marshall*.
- i. Membaca hasil stabilitas dan *flow* pada dial.



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Karakteristik Material

Pengujian karakteristik material merupakan serangkaian pengujian untuk mendapatkan atau mengetahui sifat material yang digunakan dalam pembuatan campuran beraspal. Material yang digunakan pada penelitian ini berasal dari PT. Wira Bhakti Mulia yang beralamatkan di Boyolali. Pengujian karakteristik material dilakukan sesuai spesifikasi dan Standar Nasional Indonesia. Pengujian karakteristik material antara lain:

4.1.1 Pengujian *passing 200*

Pengujian *passing 200* atau pengujian material yang lebih halus dari saringan No.200 (0,075 mm) dilakukan sesuai dengan SNI ASTM C117:2012 untuk pengujian agregat kasar dan SNI ASTM C117:2013 untuk pengujian agregat halus. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui persentase kebersihan material atau mengetahui kadar material sisa yang lolos saringan No. 200 (0,075 mm). Dapat dilihat pada Tabel 4.1.

$$\text{Passing 200} = \frac{\text{Berat Awal}-\text{Berat Bersih}}{\text{Bagi Berat Awal}} \times 100$$

$$\text{P200 Agr. kasar 1-2} = \frac{2500-2482,4}{2500} \times 100$$

$$= 0,704 \%$$

$$\text{P200 Agr. kasar 0-5} = \frac{1000-992,2}{1000} \times 100$$

$$= 0,780 \%$$

$$\text{P200 Agr. abu batu} = \frac{300-279,8}{300} \times 100$$

$$= 6,733 \%$$

Tabel 4.1 Hasil Pengujian *Passing* 200

NO	JENIS MATERIAL	SYARAT		HASIL	SATUAN	KETERANGAN
		MIN	MAKS			
1	Agregat Kasar Ukuran 1-2	-	1	0,704	%	Memenuhi
2	Agregat Kasar Ukuran 0-5	-	1	0,780	%	Memenuhi
3	Agregat Halus	-	10	6,733	%	Memenuhi

4.1.2 Pegujian *specific gravity and arbsobtion*

Pengujian *specific gravity and arbsobtion* merupakan pengujian untuk menentukan nilai berat jenis dan penyerapan agregat kasar dan agregat halus. Spesifikasi yang digunakan adalah SNI 03-1969-1990 untuk pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar, serta SNI 03-1970-1990 untuk pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus. Adapun hasil pengujian *specific gravity and arbsobtion* sebagai berikut :

1. Pengujian *Specific Gravity And Arbsobtion* Agregat Kasar

Hasil pengujian *specific gravity and arbsobtion* agregat kasar 1-2 dapat dilihat pada Tabel 4.2.

$$\begin{aligned} \text{Berat Jenis Bulk} &= \frac{BK}{BJ - BA} \\ &= \frac{2122,7}{2155,2 - 1382,3} \\ &= 2,746 \text{ gr/cc} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Jenis (SSD)} &= \frac{BJ}{BJ - BA} \\ &= \frac{2155,2}{2155,2 - 1382,3} \\ &= 2,788 \text{ gr/cc} \end{aligned}$$

$$\text{Berat Jenis Apparent} = \frac{BK}{BK - BA}$$

$$= \frac{2122,7}{2122,7-1382,3}$$

$$= 2,866 \text{ g/cc}$$

$$\begin{aligned} \text{Arbosption} &= \frac{BJ - BK}{BK} \times 100 \\ &= \frac{2155,2-2122,7}{2122,7} \times 100 \\ &= 1,538 \% \end{aligned}$$

Keterangan:

BK: Berat kering

BJ: Berat kering permukaan
(SSD)

BA: Berat di dalam air

Tabel 4.2 Pengujian *Specific Gravity And Arbsobtion* Agregat Kasar Ukuran 1-2

Agregat Kasar Ukuran 1-2		Sampel		Rata-Rata
		A	B	
Berat Jenis Bulk	$\frac{BK}{BJ - BA}$	2,746	2,745	2,746
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (SSD)	$\frac{BJ}{BJ - BA}$	2,788	2,786	2,787
Berat Jenis Semu (<i>Apparent</i>)	$\frac{BK}{BK - BA}$	2,866	2,864	2.865
Penyerapan (<i>Arbsopition</i>)	$\frac{BJ - BK}{BK} \times 100$	1,538	1,520	1,529

2. Pengujian *Specific Gravity and Arbsobtion* Agregat Kasar Ukuran 0-5

Hasil pengujian *specific gravity and arbsobtion* agregat kasar 0-5 dapat dilihat pada Tabel 4.3 di bawah ini :

$$\begin{aligned} \text{Berat Jenis Bulk} &= \frac{BK}{BJ - BA} \\ &= \frac{2052,5}{2086,5-1343,5} \\ &= 2,761 \text{ gr/cc} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Jenis (SSD)} &= \frac{BJ}{BJ - BA} \\ &= \frac{1954,0}{1954,0-1257,8} \end{aligned}$$

$$= 2,806 \text{ gr/cc}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Jenis Apparent} &= \frac{BK}{BK - BA} \\ &= \frac{1922,25}{1922,25 - 1257,8} \\ &= 2,892 \text{ gr/cc} \end{aligned}$$

Keterangan:

BK: Berat Kering

BJ: Berat kering permukaan
(SSD)

BA: Berat di dalam air

$$\begin{aligned} \text{Arbosption} &= \frac{BJ - BK}{BK} \times 100 \\ &= \frac{1954,0 - 1922,25}{1922,25} \times 100 \\ &= 1,651 \% \end{aligned}$$

Tabel 4.3 Pengujian *Specific Gravity and Arbsobtion* Agregat Kasar Ukuran 0-5

Agregat Kasar Ukuran 0-5		Sampel		Rata-Rata
		A	B	
Berat Jenis Bulk	$\frac{BK}{BJ - BA}$	2,759	2,761	2,760
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (SSD)	$\frac{BJ}{BJ - BA}$	2,804	2,806	2,805
Berat Jenis Semu (Apparent)	$\frac{BK}{BK - BA}$	2,890	2,892	2,891
Penyerapan (Arbsoption)	$\frac{BJ - BK}{BK} \times 100$	1,646	1,657	1,651

3. Pengujian *Specific Grafity and Arbsobtion* Agregat Halus (Abu Batu)

Hasil pengujian *specific gravity and arbsobtion* agregat halus dapat dilihat pada Tabel 4.4.

$$\begin{aligned} \text{Berat Jenis Bulk} &= \frac{B}{C + A - D} \\ &= \frac{490,0}{1292,0 + 500 - 1609,5} \\ &= 2,715 \text{ gr/cc} \end{aligned}$$

$$\text{Berat Jenis (SSD)} = \frac{A}{C + A - D}$$

$$= \frac{500}{1292,0+500-1609,5}$$

$$= 2,770 \text{ gr/cc}$$

$$\text{Berat Jenis Apparent} = \frac{B}{C + A - D}$$

$$= \frac{490,0}{1292,0+490,0-1609,5}$$

$$= 2,874 \text{ gr/cc}$$

Keterangan:

$$\text{Arbsoption} = \frac{A - B}{B} \times 100$$

$$= \frac{500 - 490,5}{490,5} \times 100$$

$$= 1,937 \%$$

A: Berat kering permukaan (SSD)

B: Berat kering

C: Berat picnometer + Air

D: Berat picnometer + Air + Benda uji

Tabel 4.4 Pengujian *Specific Gravity And Arbsobtion* Agregat Halus (Abu Batu)

Agregat Halus		Sampel		Rata-Rata
		A	B	
Berat Jenis Bulk	$\frac{B}{C + A - D}$	2,715	2,717	2,716
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (SSD)	$\frac{A}{C + A - D}$	2,770	2,770	2,770
Berat Jenis Semu (Apparent)	$\frac{B}{C + B - D}$	2,874	2,868	2,871
Penyerapan (Arbsoption)	$\frac{A-B}{B} \times 100$	2,041	1,937	1,989

4.1.3 Pengujian analisis saringan

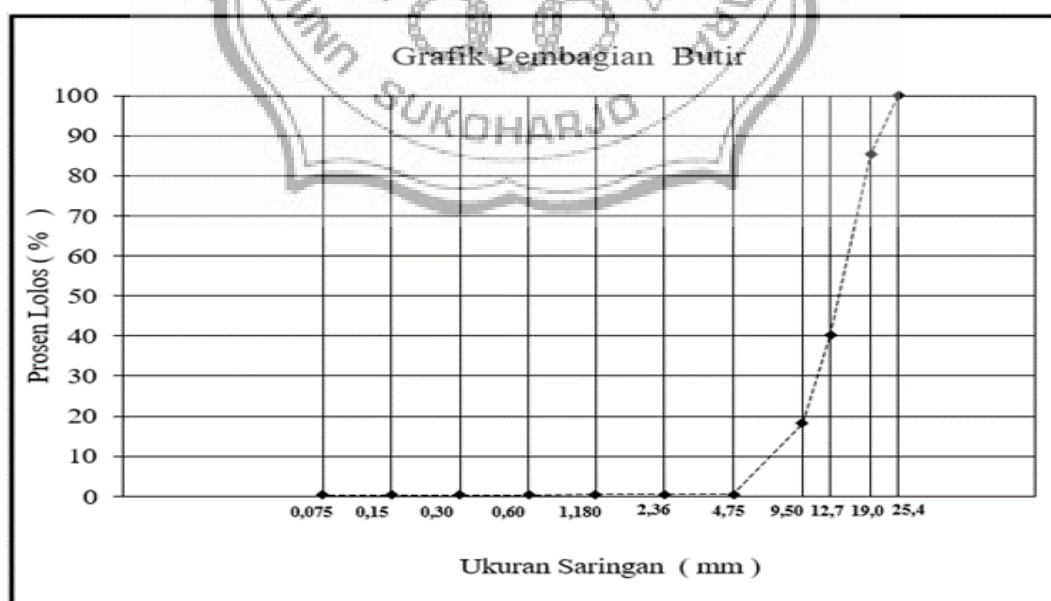
Pengujian Analisis Saringan mengacu pada SNI 03-1968-1990 dengan tujuan mengetahui gradasi agregat sehingga dapat digunakan pada perencanaan *desain mix formula*. Hasil pengujian Analisis saringan dibagi menjadi beberapa bagian, antara lain:

1. Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Kasar Ukuran 1-2

Hasil pengujian Analisis saringan Agregat Kasar Ukuran 1-2 dapat dilihat pada Tabel 4.5 dan Gambar 4.1.

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Kasar Ukuran 1-2

Ukuran Saringan		tertahan masing2 Saringan (gram)	Komulatif		
			Berat tertahan (gram)	% tertahan	% lolos
ASTM	mm				
1"	25,0	0,00	0,00	0,00	0,00
3/4 "	19,0	19,0	568,30	515,57	14,71
1/2 "	12,7	12,7	1455,97	2097,04	59,85
3/8 "	9,5	9,5	742,55	2866,31	81,80
# 4	4,75	4,75	600,20	3488,12	99,55
# 8	2,36	2,36	0,85	3488,99	99,57
# 16	1,18	1,18	0,54	3489,55	99,59
# 30	0,60	0,60	0,69	3490,26	99,61
# 50	0,30	0,30	0,75	3491,04	99,63
# 100	0,15	0,15	1,44	3492,53	99,67
# 200	0,075	0,075	1,59	3494,17	99,72
pan					
Berat seluruh				3504,00	



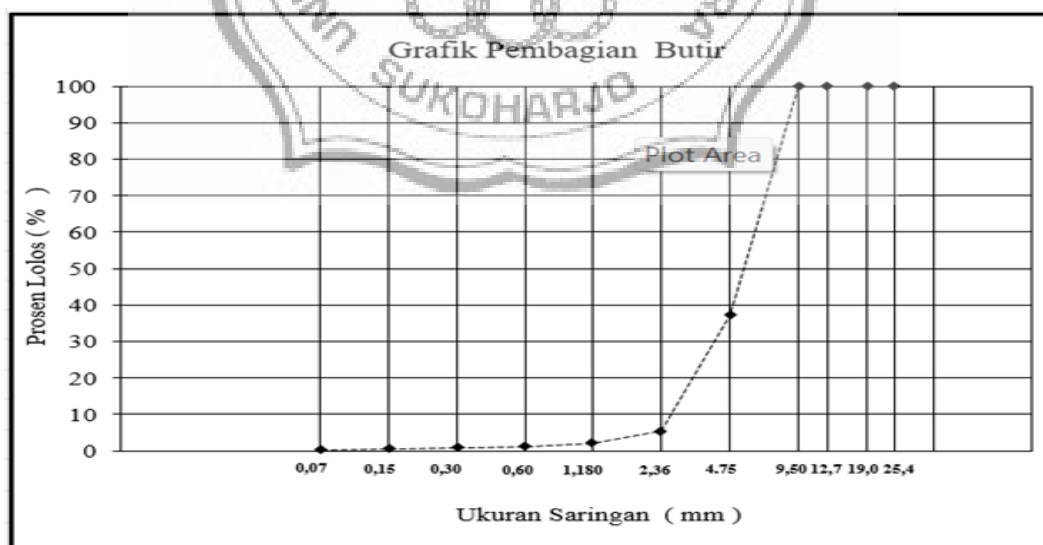
Gambar 4.1 Grafik Hasil Analisis Saringan Agregat Kasar Ukuran 1-2.

2. Hasil Pengujian Analisis saringan Agregat Kasar Ukuran 0,5

Hasil pengujian analisis saringan agregat kasar ukuran 0,5 dapat dilihat pada Tabel 4.6 Gambar 4.2.

Tabel 4.6 Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Kasar Ukuran 0,5

Ukuran Saringan		tertahan masing2 Saringan (gram)	Komulatif		
			Berat tertahan (gram)	% tertahan	% lolos
ASTM	mm				
1"	25,0	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4 "	19,0	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2 "	12,7	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8 "	9,5	0,00	0,00	0,00	100,00
# 4	4,75	1824,01	1914,87	62,85	37,15
# 8	2,36	922,85	2883,49	94,65	5,35
# 16	1,18	96,20	2984,13	97,95	2,05
# 30	0,60	25,87	3011,10	98,84	1,16
# 50	0,30	9,22	3020,71	99,15	0,85
# 100	0,15	10,96	3032,13	99,53	0,47
# 200	0,075	7,39	3039,84	99,78	0,22
pan					
Berat seluruh			3504,00		



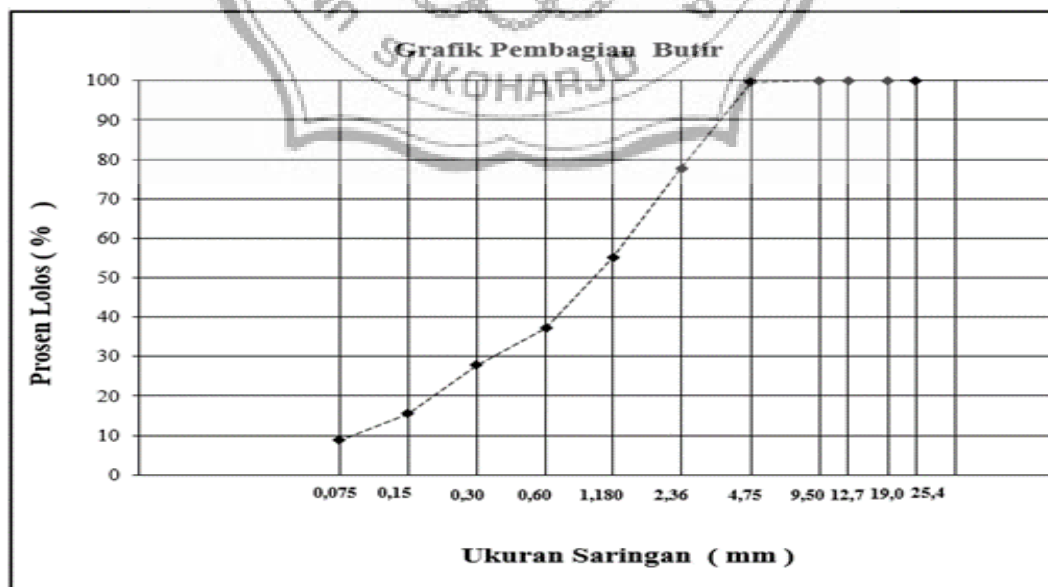
Gambar 4.2 Grafik Hasil Analisis Saringan Agregat Kasar Ukuran 5,0

3. Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus (Abu Batu)

Hasil pengujian analisis saringan agregat halus dapat dilihat pada Tabel 4.7 dan Gambar 4.3.

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus (Abu Batu)

Ukuran Saringan		tertahan masing2 Saringan (gram)	Komulatif		
			Berat tertahan (gram)	% tertahan	% lolos
ASTM	mm				
1"	25,0	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4 "	19,0	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2 "	12,7	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8 "	9,5	0,00	0,00	0,00	100,00
# 4	4,75	11,25	11,49	0,44	99,56
# 8	2,36	557,35	581,06	22,28	77,72
# 16	1,18	577,95	1171,57	44,92	55,08
# 30	0,60	459,20	1640,74	62,91	37,09
# 50	0,30	236,05	1881,95	72,16	27,84
# 100	0,15	313,05	2201,85	84,43	15,57
# 200	0,075	175,25	2380,86	91,29	8,71
pan					
Berat seluruh				2608,00	



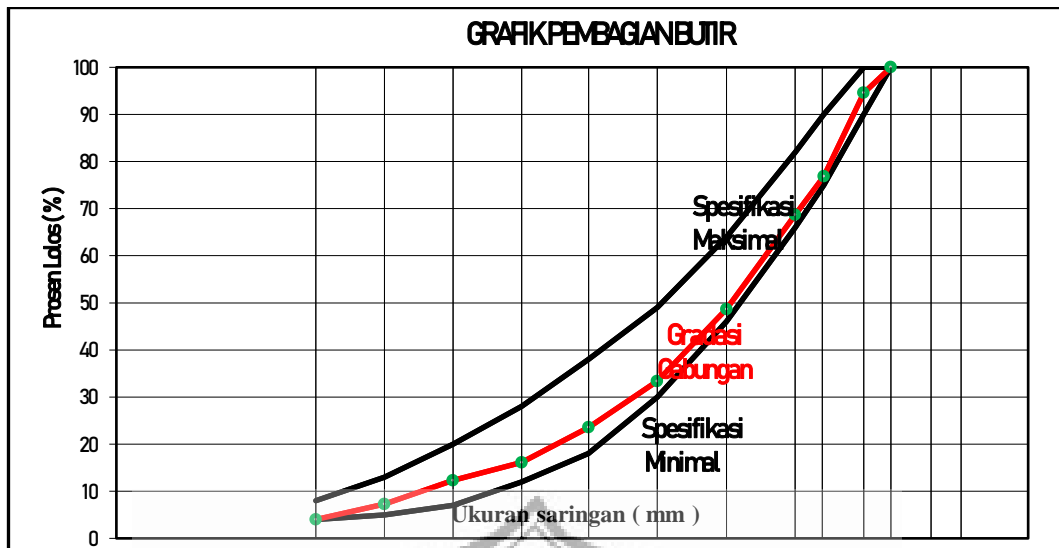
Gambar 4.3 Grafik Hasil Analisis Saringan Agregat Halus (Abu Batu).

4. Hasil Analisis *Combined Grading*

Metode yang digunakan untuk mencari prosentase agregat gabungan adalah *trial and error* yaitu apabila hasil perhitungan tidak memenuhi spesifikasi akan dilakukan pengulangan pengujian analisis saringan, hasil perhitungan gabungan analisis saringan (*combined grading*) dapat di lihat pada Tabel 4.8 dan Gambar 4.4.

Tabel 4.8 Hasil Analisis *Combined Grading*.

No Saringan	Ukuran Saringan	Gradasi Asli				Gradasi Gabungan	Spesifikasi	
		A Abu Batu	B Mat 0,5	C Mat 1-2	D filler		Min.	Maks.
1"	25	100,0	100,00	100,0	100,00	100,00	100	100
3/4"	19	100,0	100,00	85,71	100,00	94,57	90	100
1/2"	12,7	100,0	100,00	39,00	100,00	76,82	75	90
3/8"	9,5	100,0	100,00	17,68	100,00	68,72	66	82
#4	4,75	99,56	36,59	0,44	100,00	48,67	46	64
#8	2,36	77,54	5,70	0,42	100,00	33,37	30	49
#16	1,18	54,72	2,48	0,40	100,00	23,56	18	38
#30	0,6	36,59	1,62	0,38	100,00	16,12	12	28
#50	0,3	27,26	1,31	0,36	100,00	12,32	7	20
#100	0,15	14,90	0,94	0,32	100,00	7,28	5	13
#200	0,075	6,88	0,70	0,27	99,86	4,00	4	8
Proporsi Total Agregat	A. FA					40,0%	CA : 51,3	
	B.MA					21,0%	FA : 44,7	
	C.CA					38,0%	FF : 4,00	
	D.SEMEN					1,0%	Total Luas	4,69
							Permukaan	
						Agg.(m ² /Kg)		



Gambar 4.4 Grafik Analisis *Combined Grading*.

4.2 Hasil Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji dilakukan menjadi 2 (dua) bagian, yaitu pembuatan benda uji untuk menentukan kadar aspal optimum dalam campuran, dan pembuatan benda uji untuk mengetahui karakteristik *marshall* dengan penambahan tetes tebu (*molasses*). Hasil dari pembuatan benda uji adalah sebagai berikut:

Menentukan kadar aspal optimum dalam campuran

Menentukan kadar aspal optimum dihitung menggunakan rumus di bawah ini:

$$\begin{aligned} \text{Konstanta} &= \frac{0,5 \times ((\%FA \times P FA) + (\%MA \times P MA) + (\%CA \times P CA))}{100} \\ &= \frac{0,5 \times ((40,00 \times 1,989) + (21,00 \times 1,651) + (38,00 \times 1,529))}{100} \\ &= 0,769 \end{aligned}$$

$$P_b = (0,035 \times CA) + (0,045 \times MA) + (0,180 \times FA) + \text{Konstanta}$$

$$= (0,035 \times 51,33) + (0,045 \times 44,67) + (0,180 \times 4,00) + 0,769$$

$$= 1,796 + 2,010 + 0,720 + 0,769$$

$$= 5,30 \%$$

Dari perhitungan di atas didapatkan kadar aspal 5,3 % sehingga variasi kadar aspal untuk menentukan kadar aspal pilihan yaitu, 4,3 %, 4,8 %, 5,3 %, 5,8%, dan 6,3%. Berikut contoh komposisi agregat dengan kadar aspal 5,3% dimana untuk komposisi agregat kadar aspal lainnya dapat dilihat pada lampiran. Bisa di lihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Komposisi Campuran Kadar Aspal 5,3 %

BERAT BRIKET		1200	Gr
KADAR ASPAL	5,3%		Gr
BERAT ASPAL		63,60	Gr
BERAT AGREGAT		1136,40	Gr
SEMEN	1%	11,36	Gr
ADITIF	-	-	MI
BERAT MATERIAL		1125,04	Gr
Total	Nomor	Presentase	B
	Kadar Aspal (%)		5,3
			1125,04
1"	25 mm	5,43	61,10
3/4"	19 mm	17,75	199,69
1/2"	12,7 mm	8,10	91,16
3/8"	9,5 mm	20,04	225,50
#4	4,75 mm	15,30	172,18
#8	2,36 mm	9,81	110,36
#16	1,18 mm	7,44	83,72
#30	0,6 mm	3,80	42,78
#50	0,3 mm	5,04	56,69
#100	0,15 mm	3,28	36,86
#200	0,075 mm	4,00	45,02
		100,00	1125,04
Nama			B
Berat Aspal			63,60
Berat Filler			11,36
Berat Total			1200,00

Hasil pengujian karakteristik *marshall* sesuai dengan SNI 06-2489-1991. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui berat jenis agregat, *void in mix* (VIM), *void in material aggregate* (VMA), *void filled with asphalt* (VFA), stabilitas, *flow* (kelelehan), serta *marshall quotient* (MQ). Berikut merupakan hasil pengujian karakteristik *marshall* :

1. Berat Jenis Agregat

Perhitungan berat jenis meliputi : berat jenis *bulk* rata – rata agregat (G_{sb}), berat

jenis efektif agregat (Gse), dan berat jenis maksimum campuran (Gmm). Dapat dilihat pada Tabel 4.10.

$$Gsb = \frac{P1 + P2 + P3 \dots Pn}{\frac{P1}{Gsb1} + \frac{P2}{Gsb2} + \frac{P3}{Gsb3} + \frac{Pn}{Gsn}} = \frac{40 + 21 + 38 + 1}{\frac{40}{2,716} + \frac{21}{2,761} + \frac{38}{2,747} + \frac{1}{3,150}} = 2,741 \text{ gr/cc}$$

$$Gmm = \frac{\frac{1190,8}{467,5} + \frac{11889,9}{466,9}}{2} = 2,548 \text{ gr/cc}$$

$$Gse = \frac{\frac{Pmm + Pb}{\frac{Pmm}{Gmm} + \frac{Pb}{BJ \text{ Aspal}}}}{2,548 + 1,030} = \frac{100 + 5,3}{2,548 + 1,030} = 2,777 \text{ gr/cc}$$

Tabel 4.10 Hasil Perhitungan Berat Jenis Agregat

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Berat Jenis Bulk Rata - Rata Agregat (Gsb)	2,741	gr/cc
2	Berat Jenis Efektif Agregat (Gse)	2,777	gr/cc
3	Berat Jenis Maksimum Campuran (Gmm)	2,548	gr/cc

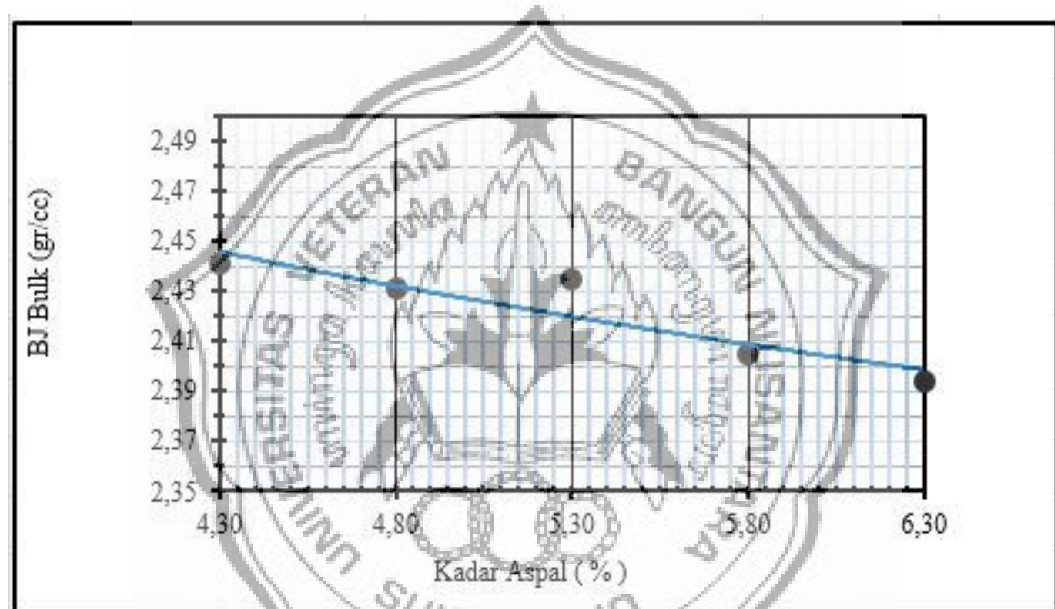
2. Density (Kepadatan)

Density atau kepadatan merupakan berat campuran pada setiap satuan volume. Faktor yang mempengaruhi hasil nilai kepadatan antara lain, gradasi agregat, kadar aspal, berta jenis agregat, proses penyusunan campuran beraspal dalam *modal*, dan proses pemadatan (suhu, dan jumlah tumbukan per bidang). Campuran beraspal yang memiliki kepadatan tinggi akan mampu menahan beban yang lebih besar daripada campuran yang memiliki kepadatan rendah. Penentuan nilai kepadatan dilakukan dengan membandingkan berat kering udara dengan berat kering permukaan dikurangi dengan berat dalam air. Adapun hasil nilai kepadatan dapat dilihat pada Tabel 4.11 dan Grafik 4.5.

$$\text{Berat Jenis Bulk} = \frac{BK}{BJ - BA} = \frac{1192,8}{708,2 - 1198,1} = 2,43 \text{ gr/cc}$$

Tabel 4.11 *Density* (Kepadatan) Aspal Normal

Kadar Aspal %	Density (Kepadatan)
	Hasil
4,30 %	2,44
4,80 %	2,43
5,30 %	2,43
5,80 %	2,41
6,30 %	2,39

Gambar 4.5 Grafik *Density* (Kepadatan)

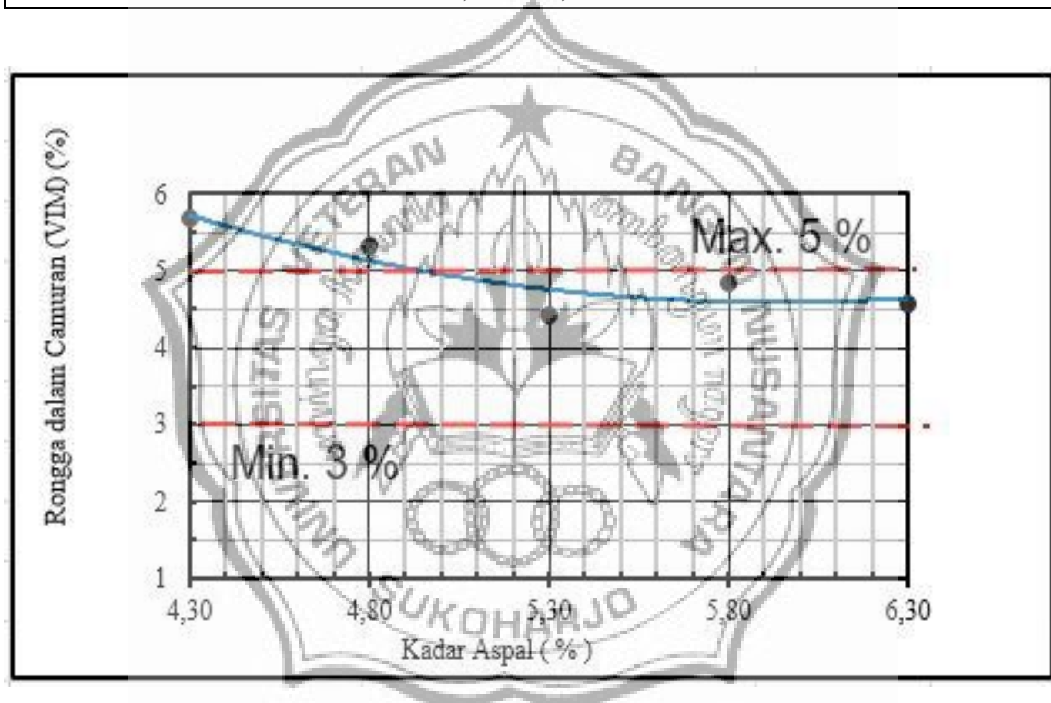
2. *Void in Mix* (VIM)

Void in mix (VIM) merupakan persentase rongga udara yang terdapat di dalam total campuran beraspal. Maksud dari rongga udara ini yaitu ruang udara diantara butiran material yang terselimuti aspal. VIM memiliki syarat nilai berkisar antara 3% - 5% sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Hasil perhitungan VIM dapat dilihat pada Tabel 4.12 dan Gambar 4.6.

$$\text{VIM} = \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \times 100 = \frac{2,548 - 2,435}{2,548} \times 100 = 4,43\%$$

Tabel 4.12 Hasil Perhitungan VIM Aspal Normal

Kadar Aspal %	Void In Mix (VIM) %
	Hasil
4,30 %	5,68
4,80 %	5,32
5,30 %	4,43
5,80 %	4,85
6,30 %	4,58
3,0 % - 5,0 %	



Gambar 4.6 Grafik Void in Mix (VIM)

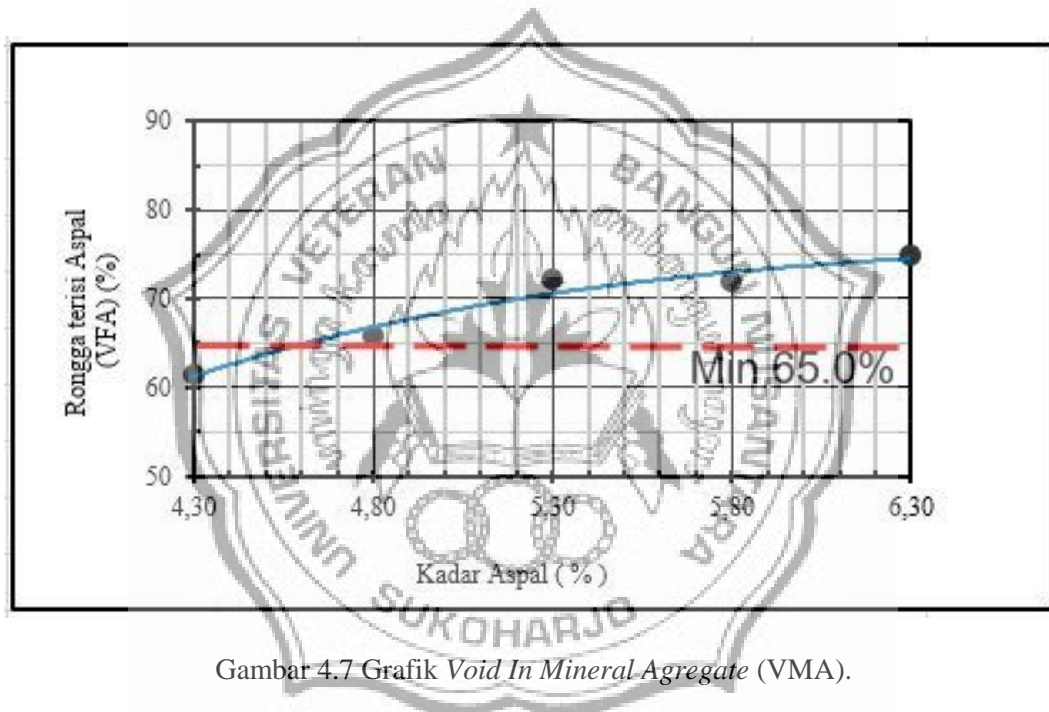
3. Void in Mineral Agregate (VMA)

Void in Mineral Agregate (VMA) merupakan persentase nilai rongga yang terdapat di dalam agregat. Nilai pada VMA yang disyaratkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yaitu minimal 14 %. Nilai VFA dapat dilihat pada Tabel 4.12 dan Gambar 4.6 seperti di bawah ini.

$$VMA = 100 - \frac{(G_{mb}(100-\%Aspal))}{G_{sb}} = 100 - \frac{(2,435(100-5,3))}{2,741} = 15,87\%$$

Tabel 4.13 Hasil Perhitungan VMA Aspal Normal

Kadar Aspal %	Void in Mineral Agregate (VMA)%
	Hasil
4,30 %	14,77
4,80 %	15,55
5,30 %	15,87
5,80 %	17,33
6,30 %	18,16
Minimal 14,0 %	



Gambar 4.7 Grafik Void In Mineral Agregate (VMA).

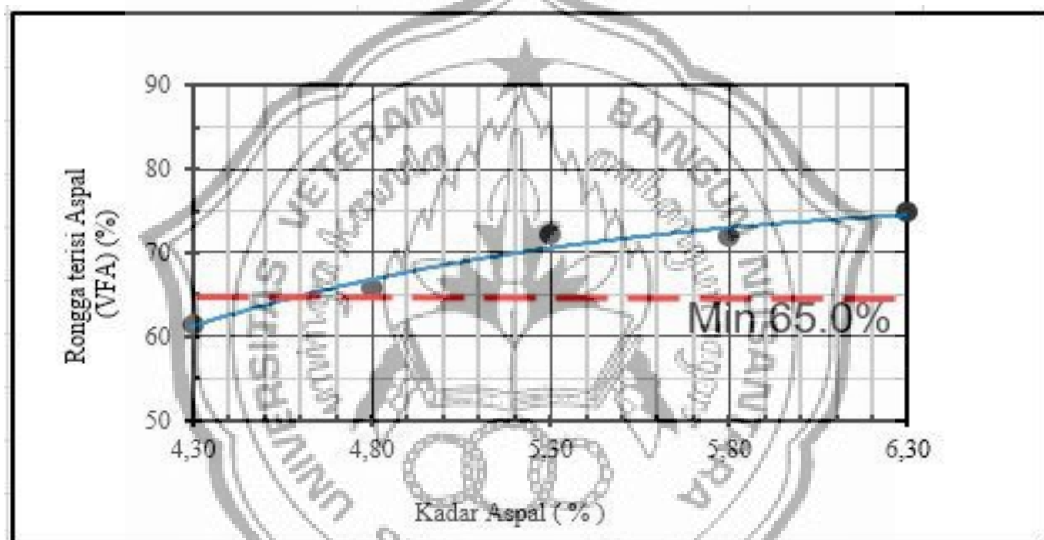
3. Void Filled with Asphalt (VFA)

VFA (*Voids Filled with Asphalt*) merupakan nilai persentase rongga pada campuran yang terisi aspal setelah mengalami pemadatan, namun tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat. Faktor – faktor yang mempengaruhi VFA antara lain kadar aspal dalam campuran, grasi agregat, pemadatan, dan arbsobsi agregat. Syarat nilai VFA dalam spesifikasi adalah 65 %. Bisa dilihat pada Tabel 4.14 dan Gambar 4.8.

$$VFA = \frac{(VMA - VIM)}{VMA} \times 100 = \frac{(15,87 - 4,43)}{15,87} \times 100 = 72,08 \%$$

Tabel 4.14 Hasil Perhitungan VFA Aspal Normal

Kadar Aspal %	Void Filled with Asphalt (VFA) %
	Hasil
4,30 %	61,52
4,80 %	65,81
5,30 %	72,08
5,80 %	71,99
6,30 %	74,80
Minimal 65,0 %	

Gambar 4.8 Grafik *Filled with Asphalt* (VFA).

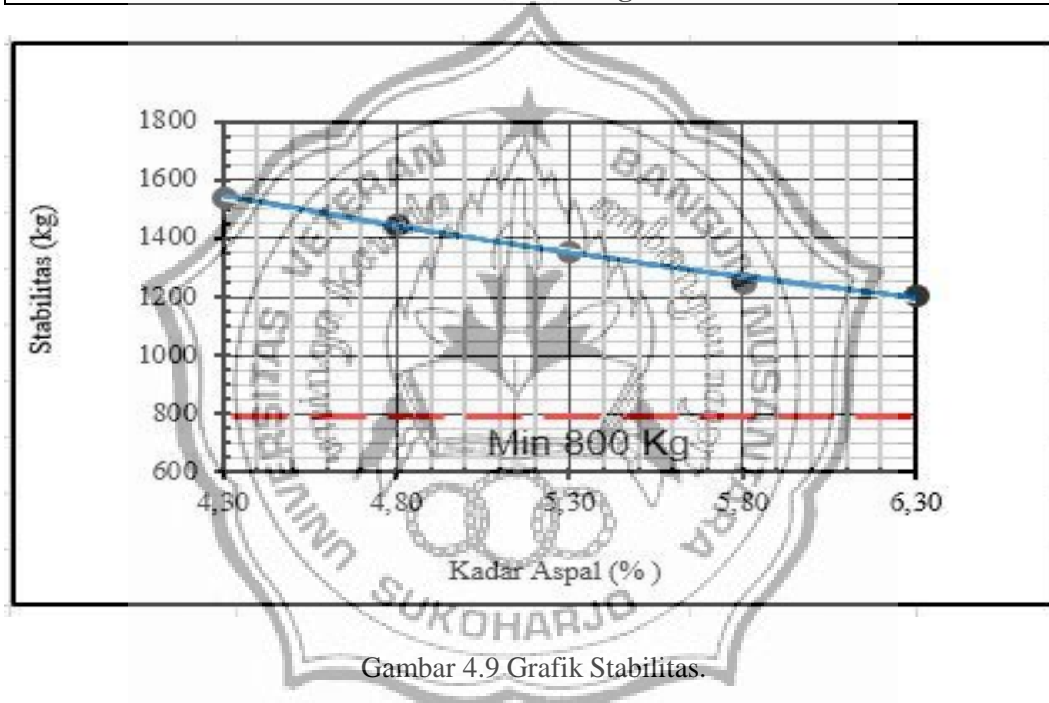
4. Stabilitas

Stabilitas merupakan kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan struktur seperti gelombang, alur, dan *bleeding*. Kebutuhan stabilitas sebanding dengan fungsi jalan dan beban lalu lintas di atasnya. Semakin besar stabilitas dari campuran beraspal maka dapat menahan beban lalu lintas yang lebih besar begitupun sebaliknya, semakin rendah nilai stabilitas maka kemampuan menahan beban lalu lintas juga semakin kecil. Hasil perhitungan nilai stabilitas padat dilihat pada Tabel 4.15 dan Gambar 4.9.

$$S = p \times q = 101 \times 13,43 = 1356,43 \text{ kg}$$

Tabel 4.15 Hasil Nilai Stabilitas Aspal Normal

Kadar Aspal %	Stabilitas (Kg)
	Hasil
4,30 %	1544,45
4,80 %	1450,44
5,30 %	1356,43
5,80 %	1248,99
6,30 %	1208,70
Minimal 800 kg	



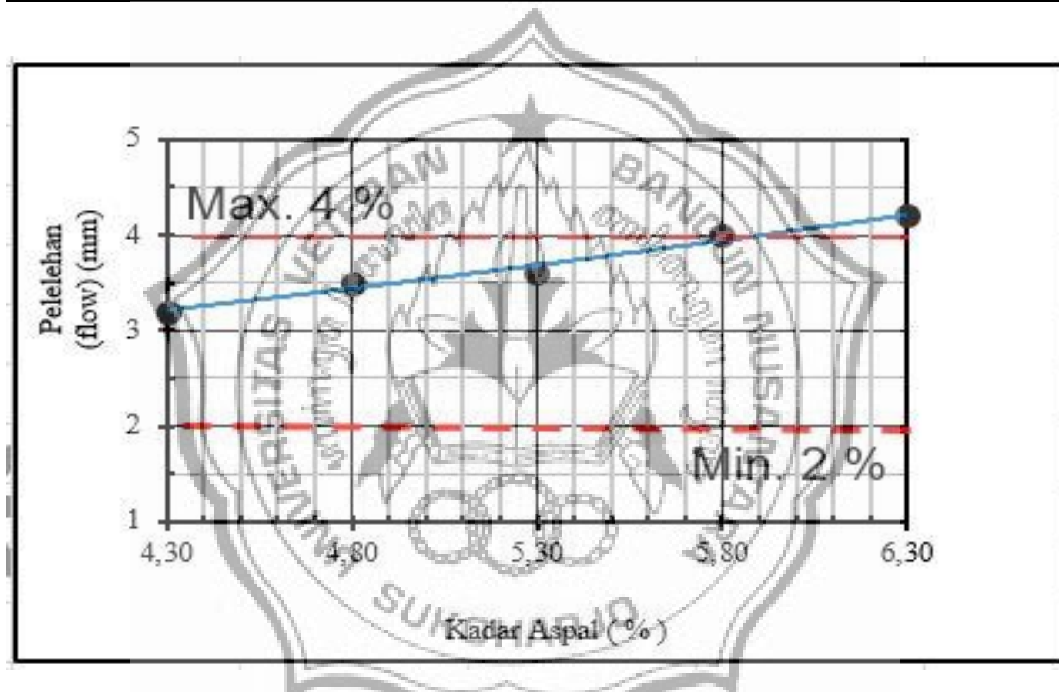
Gambar 4.9 Grafik Stabilitas.

5. Flow (Kelelahan)

Flow merupakan merupakan tingkat kelelahan campuran beraspal menerima lendutan berulang akibat dari perubahan beban ketika di uji dengan keadaan ekstrim yaitu dengan perendaman dengan suhu 60 °C selama 30 menit. Berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018 batasan nilai *flow* yaitu 2,00 mm – 4,00 mm. Nilai *flow* dapat dilihat pada tabel dan grafik ketahanan kelelahan plastis campuran beraspal. Bisa dilihat pada Tabel 4.16 dan Gambar 4.10.

Tabel 4.16 Hasil Nilai *Flow* Aspal Normal

Kadar Aspal %	Flow (mm)
	Hasil
4,30 %	3,20
4,80 %	3,50
5,30 %	3,60
5,80 %	4,00
6,30 %	4,60
2,0 mm – 4,0 mm	

Gambar 4.10 Grafik *Flow*.

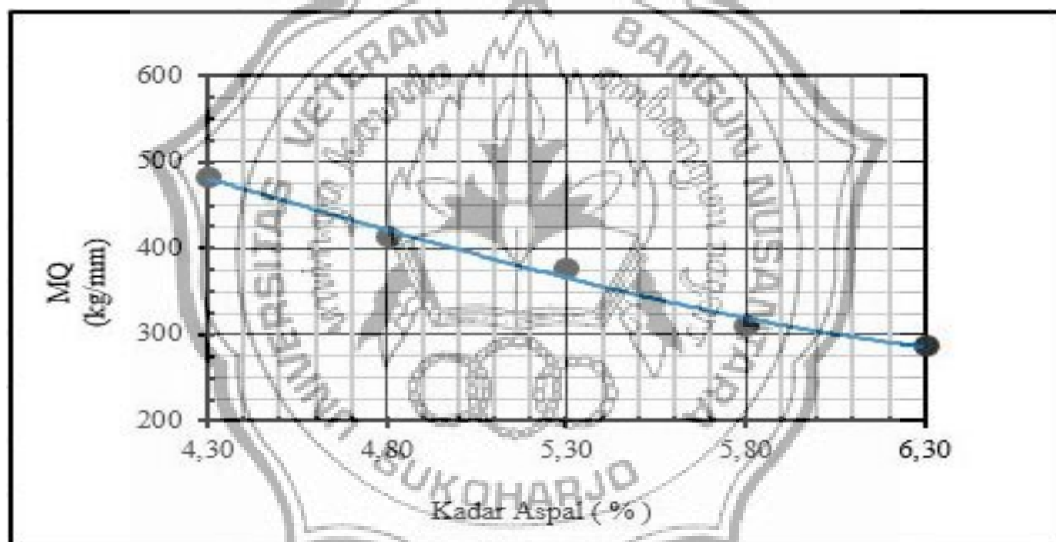
6. Marshall Quotient (MQ)

Marshall Quotient merupakan hasil pembagian antara nilai stabilitas dan nilai *flow*. Nilai MQ menyatakan sifat kekakuan pada campuran beraspal, apabila nilai MQ tinggi maka campuran beraspal cenderung keras dan kaku sehingga akan mudah retak apabila menerima beban, dan apabila nilai MQ terlalu rendah cenderung mengurangi kestabilan campuran beraspal. Bisa dilihat pada Tabel 4.17 dan Gambar 4.11.

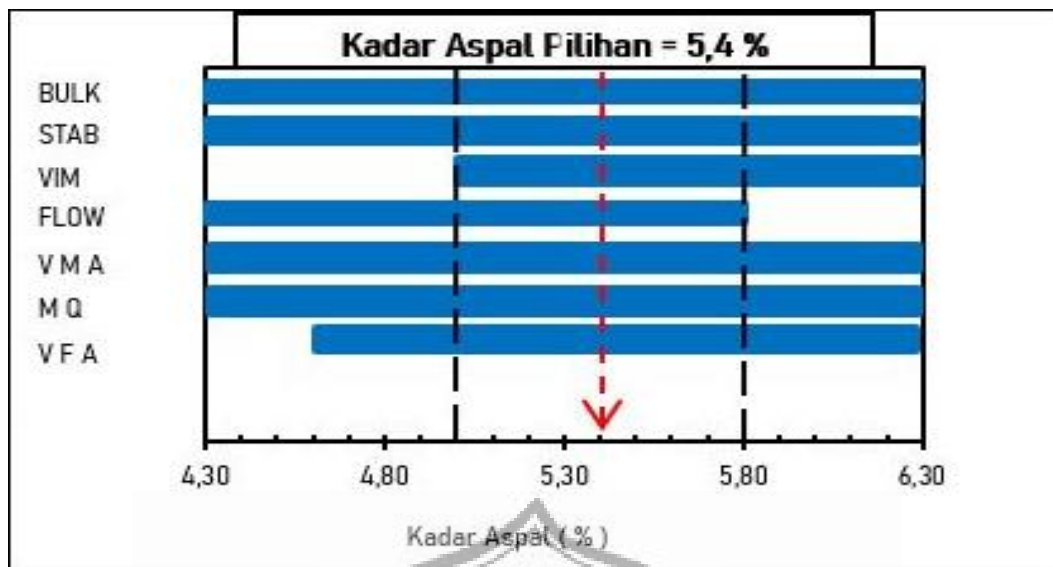
$$MQ = \frac{\text{Stabilitas}}{\text{flow}} = \frac{1356,43}{3,20} = 376,79 \text{ kg/mm}$$

Tabel 4.17 Hasil Nilai *Marshall Quotient* (MQ) Aspal Normal

Kadar Aspal %	Marshall Quotient (kg/mm)
	Hasil
4,30 %	482,64
4,80 %	414,41
5,30 %	376,79
5,80 %	328,68
6,30 %	309,92
Minimal 250 kg/mm	

Gambar 4.11 Grafik *Marshall Quotient* (MQ).

Hasil pengujian karakteristik *marshall* dengan variasi kadar aspal seperti pada data di atas dilakukan pembuatan benda uji sebanyak 5 buah benda uji, mendapatkan hasil kadar aspal pilihan 5,4 % seperti pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Kadar Aspal Pilihan.

4.3 Pembuatan Benda Uji Dengan Penambahan Tetes Tebu (*Molasses*) Serta Menggunakan *Filler* Limbah Beton

Variasi penambahan tetes tebu (*molasses*) serta menggunakan *filler* limbah beton di ambil berdasarkan referensi dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, variasi yang digunakan yaitu 1%, 3%, 5%, 7%, dan 9%, dengan rincian perhitungan berat pembuatan benda uji seperti Tabel 4.18.

Tabel 4.18 Perhitungan Berat Pembuatan Benda Uji

Kadar Aspal Pilihan		Kadar Tetes Tebu (<i>Molasses</i>)		Berat Aspal minyak Pen. 60/70	Filler (Limbah Beton)	Berat Total Agregat
%	Gram	%	gram			
5,4	68,40	0	0,00	68,40	1%	1135,20 gram
		1	0,68	67,72		
		3	2,05	66,35		
		5	3,42	64,98		
		7	4,54	63,86		
		9	5,83	62,57		

Hasil pengujian karakteristik *marshall* sesuai dengan SNI 06-2489-1991. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui berat jenis agregat, *void in mix* (VIM), *void in material aggregate* (VMA), *void filled with asphalt* (VFA), stabilitas, *flow* (kelelehan), serta *marshall quotient* (MQ). Berikut merupakan hasil pengujian karakteristik *marshall*:

1. Berat Jenis Agregat

Perhitungan berat jenis meliputi : berat jenis *bulk* rata – rata agregat (Gsb), berat jenis efektif agregat (Gse), dan berat jenis maksimum campuran (Gmm). Dapat dilihat pada Tabel 4.18 di bawah ini :

$$Gsb = \frac{P1 + P2 + P3 \dots Pn}{\frac{P1}{Gsb1} + \frac{P2}{Gsb2} + \frac{P3}{Gsb3} + \frac{Pn}{Gsn}} = \frac{40 + 21 + 38 + 1}{\frac{40}{2,716} + \frac{21}{2,761} + \frac{38}{2,747} + \frac{1}{3,150}} = 2,741 \text{ gr/cc}$$

$$Gmm = \frac{\frac{1190,8}{467,5} + \frac{1189,9}{466,9}}{2} = \frac{2,547 + 2,549}{2} = 2,548 \text{ gr/cc}$$

$$Gse = \frac{100 + Pb}{\frac{100}{Gmm} + \frac{Pb}{BJ \text{ Aspal}}} = \frac{100 + 5,3}{\frac{100}{2,548} + \frac{5,3}{1,030}} = 2,777 \text{ gr/cc}$$

Tabel 4.19 Hasil Perhitungan Berat Jenis Agregat

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Berat Jenis Bulk Rata - Rata Agregat (Gsb)	2,741	gr/cc
2	Berat Jenis Efektif Agregat (Gse)	2,777	gr/cc
3	Berat Jenis Maksimum Campuran (Gmm)	2,548	gr/cc

2. Density (Kepadatan)

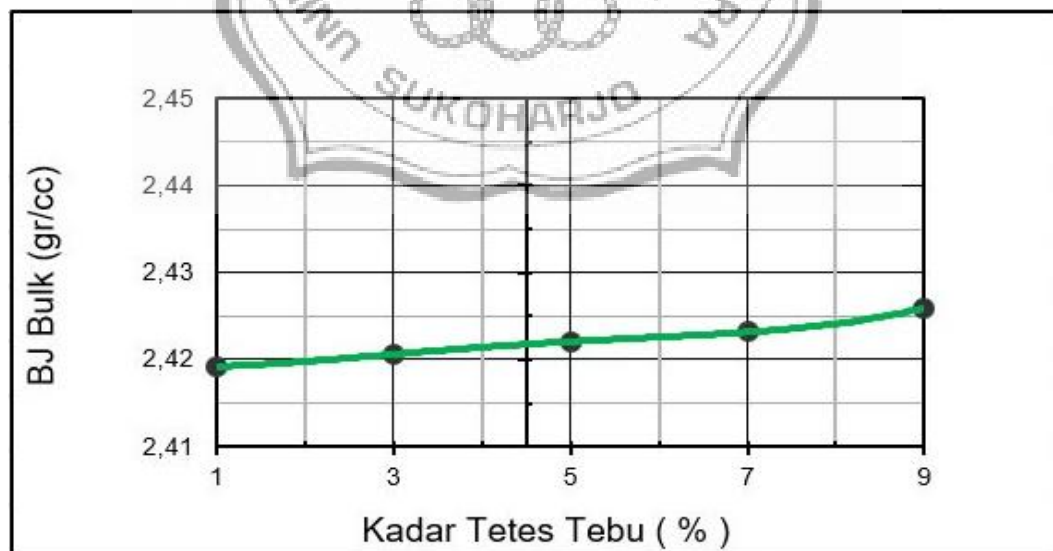
Density atau kepadatan merupakan berat campuran pada setiap satuan volume. Faktor yang mempengaruhi hasil nilai kepadatan antara lain, gradasi agregat, kadaraspal, berta jenis agregat, proses penyusunan campuran beraspal dalam *mold*, dan proses pemadatan (suhu, dan jumlah tumbukan perbidang). Campuran beraspal yang memiliki kepadatan tinggi akan mampu menahan beban yang lebih besar daripada campuran yang memiliki kepadatan rendah. Penentuan nilai kepadatan dilakukan dengan membandingkan berat kering udara dengan berat

kering permukaan dikurangi dengan berat dalam air. Adapun hasil nilai kepadatan dapat dilihat pada Tabel 4.20 dan Gambar 4.13.

$$\text{Berat Jenis Bulk} = \frac{\text{BK}}{\text{SSD} - \text{BA}} = \frac{1188,3}{1191,6 - 700,4} = 2,419 \text{ g/cc}$$

Tabel 4.20 Hasil Pengujian Kepadatan (*Density*) Aspal Inovasi

% Variasi Tetes Tebu	Berat Campuran			gr/cc	
				Kepadatan	
	Udara (BK)	Air (BA)	SSD	Hasil	Rata - Rata
1%	1188,5	699,8	1191,0	2,420	2,419
	1187,4	699,3	1190,2	2,419	
	1188,3	700,4	1191,6	2,419	
3%	1185,8	698,4	1188,4	2,420	2,421
	1187,6	699,8	1190,4	2,421	
	1186,6	699,6	1189,7	2,421	
5%	1195,2	703,6	1197,2	2,421	2,422
	1196,6	704,1	1198,2	2,422	
	1194,8	702,3	1195,4	2,423	
7%	1195,8	703,9	1197,2	2,424	2,423
	1196,3	704,4	1198,4	2,422	
	1196,6	705,1	1198,8	2,424	
9%	1185,9	698,5	1187,5	2,425	2,426
	1188,3	700,6	1190,2	2,427	
	1187,3	700,3	1189,8	2,426	



Gambar 4.13 Grafik Perbandingan Kepadatan (*Density*) Dan Variasi Bahan Tambah Tetes Tebu (*Molasses*).

3. *Void in Mix* (VIM)

Void in mix (VIM) merupakan persentase rongga udara yang terdapat di dalam total campuran beraspal. Maksud dari rongga udara ini yaitu ruang udara diantara butiran material yang terselimuti aspal. VIM memiliki syarat nilai berkisar antara 3% - 5% sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Hasil perhitungan VIM dapat dilihat pada Tabel 4.21 dan Gambar 4.14 grafik perbandingan *void in mix* (VIM) dan variasi bahan tambah tetes tebu (*molasses*) sebagai berikut.

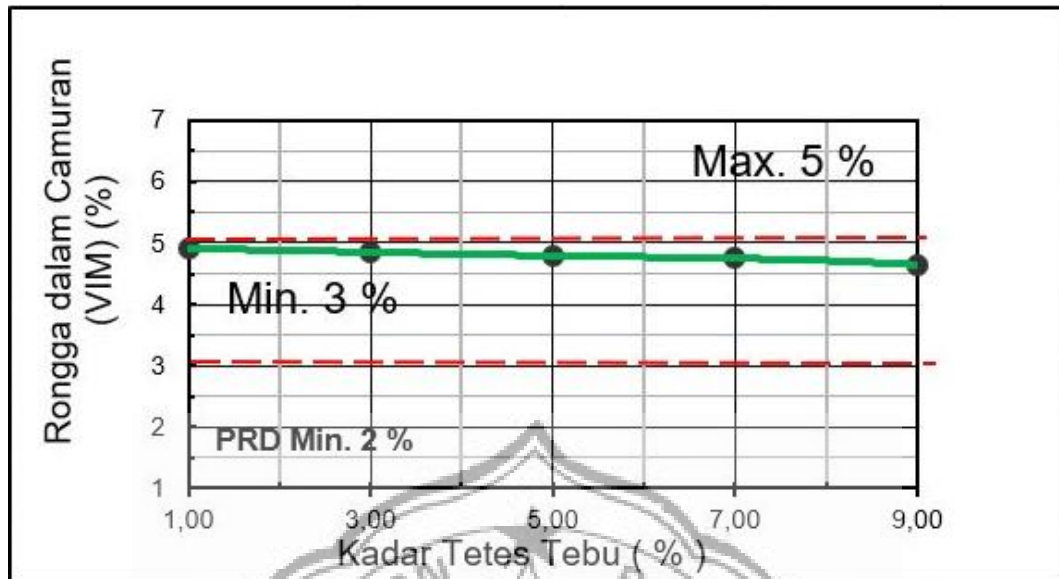
$$\text{VIM} = \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \times 100 = \frac{2,544 - 2,520}{2,544} \times 100 = 4,89\%$$

Tabel 4.21 Hasil Perhitungan VIM Aspal Inovasi

% Variasi Tetes Tebu	% <i>Void In Mix</i> (VIM)	
	Hasil	Rata – Rata
1%	4,89	4,91
	4,92	
	4,91	
3%	4,87	4,85
	4,85	
	4,83	
5%	4,82	4,79
	4,80	
	4,75	
7%	4,71	4,75
	4,81	
	4,73	
9%	4,67	4,64
	4,60	
	4,66	
3,0 % - 5,0 %		

Dari hasil pengujian diatas, dapat disimpulkan bahwa semakin bertambah kadar tetes tebu (*Molasses*) akan menurunkan nilai *void in mix* (VIM), nilai VIM tertinggi terjadi pada kadar 1 % dengan nilai 4,91 %, kemudain mengalami penurunan pada kadar 3 % sebesar 4,85%, kadar 5 % sebesar 4,79 % kadar 7 % sebesar 4,75 %, dan nilai tertinggi terjadi pada kadar 9 % sebesar 4,64%. Dari data tersebut, maka nilai VIM telah memenuhi Spesifikasi Umum BinaMarga

2018.



Gambar 4.14 Grafik Perbandingan *Void In Mix* (VIM) dan Variasi Bahan Tambah Tetes Tebu (*Molasses*).

4. *Void in Mineral Agregate* (VMA)

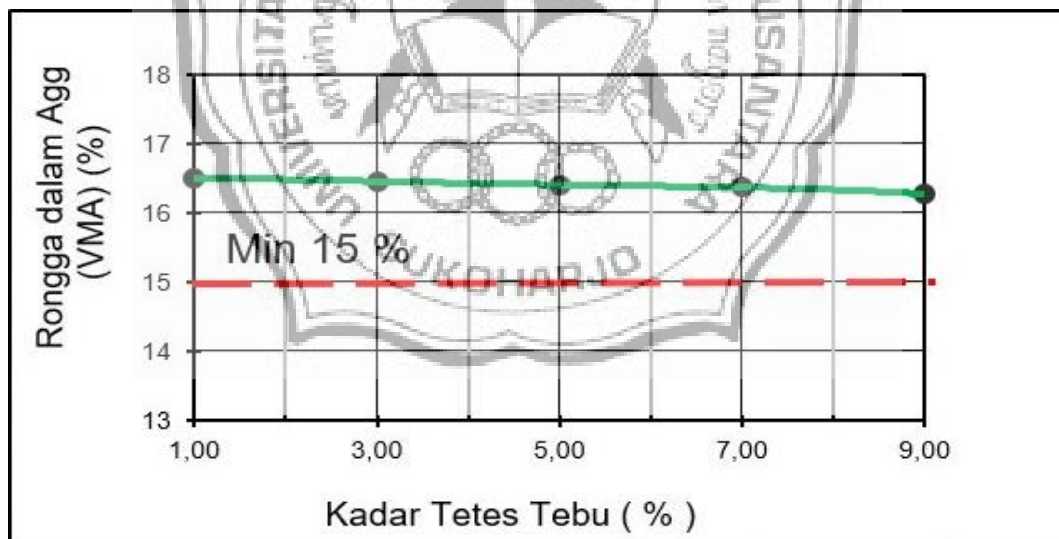
Void in Mineral Agregate (VMA) merupakan persentase nilai rongga yang terdapat di dalam agregat. Nilai pada VMA yang disyaratkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yaitu minimal 15 %. Berikut ini merupakan tabel dan grafik perbandingan nilai VMA dengan penambahan tetes tebu (*Molasses*). Nilai VMA dapat dilihat pada Tabel 4.22 dan Gambar 4.15.

$$\text{VMA} = 100 - \frac{(\text{Gmb} (100 - \% \text{ Aspal}))}{\text{Gsb}} = 100 - \frac{(2,419(100 - 5,4))}{2,741} = 16,49 \%$$

Dari perhitungan *Void in Mineral Agregate* (VMA), dapat diketahui bahwa penambahan tetes tebu (*Molasses*) sesuai dengan Spesifikasi Bina Marga. Akan tetapi, semakin banyak penggunaan tetes tebu (*molasses*) nilai dari *Void in Mineral Agregate* (VMA) juga semakin mengalami peningkatan. Nilai VMA tertinggi terjadi pada penambahan tetes tebu 1 % dengan nilai rata-rata sebesar 16,51 % kemudian mengalami penurunan pada kadar 3 % sebesar 16,46 %, kadar 5 % sebesar 16,41 %, kadar 7 % sebesar 16,37 %, dan nilai tertinggi pada kadar 9 % sebesar 16,27 %.

Tabel 4.22 Hasil Perhitungan VMA Aspal Inovasi

% Variasi Tetes Tebu	% Void in Mineral Agregate (VMA)	
	Hasil	Rata – Rata
1%	16,49	16,51
	16,52	
	16,51	
3%	16,48	16,46
	16,45	
	16,44	
5%	16,43	16,41
	16,42	
	16,37	
7%	16,34	16,37
	16,42	
	16,35	
9%	16,30	16,27
	16,23	
	16,29	
	Min 15 %	



Gambar 4.15 Grafik Perbandingan *Void in Mineral Agregate* (VMA) dan Variasi Bahan Tambah Tetes Tebu (*Molasses*)

5. *Voids Filled with Asphalt* (VFA)

VFA (*Voids Filled with Asphalt*) merupakan nilai persentase rongga pada campuran yang terisi aspal setelah mengalami pemadatan, namun tidak

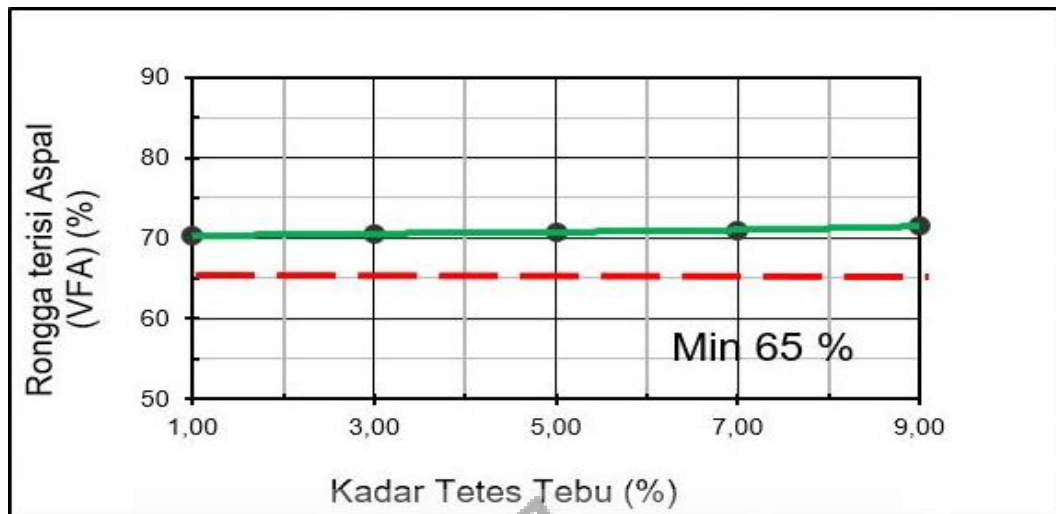
termasuk aspal yang diserap oleh agregat. Faktor – faktor yang mempengaruhi VFA antara lain kadar aspal dalam campuran, grasi agregat, pemadatan, dan arbsobsi agregat. Syarat nilai VFA dalam spesifikasi adalah 65 %. Berikut ini merupakan tabel hasil perhitungan nilai VFA dan gambar grafik perbandingan VFA dengan bahan tambah tetes tebu (*Molasses*). Nilai VMA dapat dilihat pada Tabel 4.23 dan Gambar 4.16.

$$VFA = \frac{(VMA - VIM)}{VMA} \times 100 = \frac{(16,49 - 4,89)}{16,49} \times 100 = 70,35 \%$$

Tabel 4.23 Hasil Perhitungan VFA Aspal Inovasi

% Variasi Tetes Tebu	% Voids Filled with Asphalt (VFA)	
	Hasil	Rata - Rata
1%	70,35	70,28
	70,21	
	70,28	
3%	70,42	70,53
	70,55	
	70,62	
5%	70,67	70,79
	70,74	
	70,96	
7%	71,15	70,98
	70,72	
	71,09	
9%	71,34	71,48
	71,69	
	71,41	
Min 65 %		

Dari data nilai *Void Filled with Asphalt* (VFA) diatas, terlihat bahwa seiring bertambahnya kadar tetes tebu (*molasses*), maka nilai VFA senakin menambah. Nilai VFA tertinggi yaitu pada kadar penambahan tetes tebu (*molasses*) 9 % sebesar 71,48 % dan nilai VFA terendah pada kadar 1 % sebesar 70,28 %. Hasil dari nilai VFA tersebut masih memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.



Gambar 4.16 Grafik Perbandingan *Voids Filled with Asphalt (VFA)* dan Variasi Bahan Tambah Tetes Tebu (*Molasses*).

6. Stabilitas

Stabilitas merupakan kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan struktur seperti gelombang, alur, dan *bleeding*. Kebutuhan stabilitas sebanding dengan fungsi jalan dan beban lalu lintas di atasnya. Semakin besar stabilitas dari campuran beraspal maka dapat menahan beban lalu lintas yang lebih besar begitupun sebaliknya, semakin rendah nilai stabilitas maka kemampuan menahan beban lalu lintas juga semakin kecil. Hasil perhitungan nilai stabilitas padat dilihat pada Tabel 4.24 dan Gambar 4.17.

$$(S = p \times q) = 85 \times 13,97 = 1137,70 \text{ kg}$$

Tabel 4.24 Hasil Stabilitas Aspal Inovasi

% Variasi Tetes Tebu	(Kg) Stabilitas	
	Hasil	Rata – Rata
1%	1114,69	1137,70
	1141,55	
	1154,98	
3%	1168,41	1083,35
	1074,40	
	1007,25	

5%	1020,68	1007,25
	993,82	
	1007,25	
7%	1007,25	984,87
	980,39	
	966,96	
9%	966,96	953,53
	940,10	
	953,53	
Minimal 800 Kg		



Gambar 4.17 Grafik Perbandingan Stabilitas dan Variasi Bahan Tambah Tetes Tebu (*Molasses*).

Diketahui bahwa nilai stabilitas harus lebih tinggi dari 800 kg sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Nilai stabilitas yang memenuhi spesifikasi tersebut hanya pada kadar penambahan serbuk karet ban bekas 1 % dan 3 %. Nilai stabilitas tertinggi pada kadar tetes tebu (*molasses*) 1 % yaitu sebesar 1137,70 kg. Seiring dengan bertambahnya tetes tebu (*molasses*) nilai stabilitas semakin rendah, pada kadar 3 % mengalami penurunan sebesar 1083,35 kg, pada kadar 5 % sebesar 1007,25 kg, pada kadar 7 % sebesar 984,87 kg, dan stabilitas terendah pada kadar 9 % yaitu sebesar 953,53 kg. Semakin rendah nilai stabilitas perkerasan jalan maka cenderung kurang dapat menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan struktur seperti gelombang, alur, dan *bleeding*.

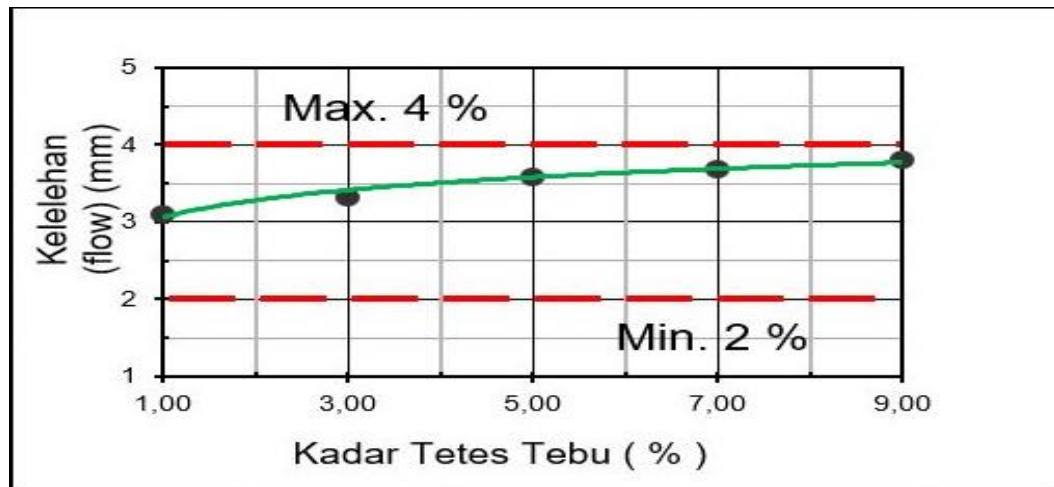
7. Flow (kelelehan)

Flow merupakan merupakan tingkat kelelehan campuran beraspal menerima lendutan berulang akibat dari perubahan beban ketika di uji dengan keadaan ekstrim yaitu dengan perendaman dengan suhu 60 °C selama 30 menit. Berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018 batasan nilai flow yaitu 2,00 mm – 4,00 mm. Nilai *flow* dapat di lihat pada tabel dan grafik ketahanan kelelehan plastis campuran beraspal dengan penambahan tetes tebu (*molasses*) dilihat pada Tabel 4.25 dan Gambar 4.18.

Tabel 4.25 Hasil *Flow* (Kelelehan) Aspal Inovasi

% Variasi Tetes Tebu	(mm) <i>Flow</i>	
	Hasil	Rata – Rata
1%	3,20	3,10
	3,00	
	3,10	
3%	3,28	3,33
	3,40	
	3,30	
5%	3,60	3,58
	3,60	
	3,54	
7%	3,57	3,69
	3,70	
	3,80	
9%	3,78	3,81
	3,75	
	3,90	

Dapat diketahui bahwa semakin banyak kadar tetes tebu (*molasses*) akan menyebabkan peningkatan nilai *flow*. Nilai *flow* tertinggi pada kadar 9 % yaitu sebesar 3,81 mm, semakin mengalami penurunan hingga nilai *flow* terendah pada kadar 1 % yaitu sebesar 3,10 mm. Nilai *flow* dari hasil pengujian menunjukkan bahwa benda uji tersebut memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 dikarenakan memenuhi batas minimum dan tidak melewati batas maksimum nilai *flow*.



Gambar 4.18 Grafik Hubungan *flow* dan Variasi Kadar Bahan Tambah Tetes Tebu (*Molasses*).

8. Marshall Quotient

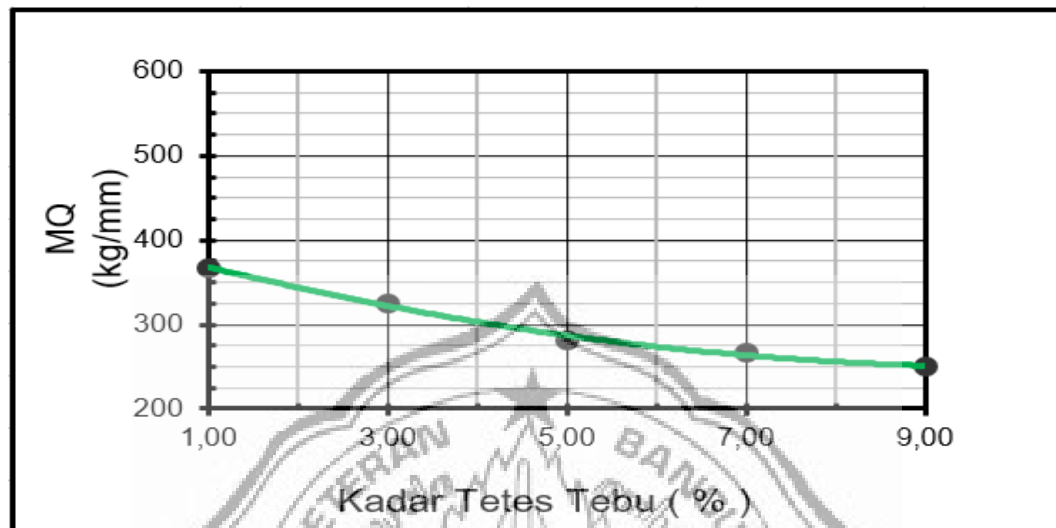
Marshall Quotient merupakan hasil pembagian antara nilai stabilitas dan nilai *flow*. Nilai MQ menyatakan sifat kekakuan pada campuran beraspal, apabila nilai MQ tinggi maka campuran beraspal cenderung keras dan kaku sehingga akan mudah retak apabila menerima beban, dan apabila nilai MQ terlalu rendah cenderung mengurangi kestabilan campuran beraspal. Dilihat pada Tabel 4.26 dan Gambar 4.19.

$$(MQ = S/F) = 1137,07 / 3,10 = 367,14 \text{ kg/mm}$$

Tabel 4.26 Hasil Nilai *Marshall Quotient* (MQ) Aspal Inovasi

% Variasi Tetes Tebu	(kg/mm) <i>Marshall Quotient</i>	
	Hasil	Rata - Rata
1%	348,34	367,14
	380,52	
	372,57	
3%	356,22	325,82
	316,00	
	305,23	
5%	283,52	281,37
	276,06	
	284,53	
7%	282,14	267,19
	264,97	
	254,46	

9%	255,81	250,33
	250,69	
	244,49	
Minimal 250 kg/mm		



Gambar 4.19 Grafik Hubungan *Marshal Quotient* (MQ) dan Variasi Kadar Bahan Tambah Tetes Tebu (*Molasses*).

Berdasarkan nilai *marshal quotient* (MQ) di atas, dapat diketahui bahwa nilai MQ telah memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 dengan batas minimal nilai MQ yaitu 250 kg/mm. Nilai MQ tertinggi pada kadar Tetes Tebu (*Molasses*) 1 % yaitu 367,14 kg/mm. seiring dengan penambahan tetes tebu (*molasses*) nilai MQ mengalami penurunan. Pada kadar 3 % sebesar 325,82 kg/mm, kadar 5 % sebesar 281,37 kg/mm, kadar 7 % sebesar 267,19 kg/mm, dan nilai MQ terendah pada kadar 9 % sebesar 250,33 kg/mm.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dari karakteristik *marshall* yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

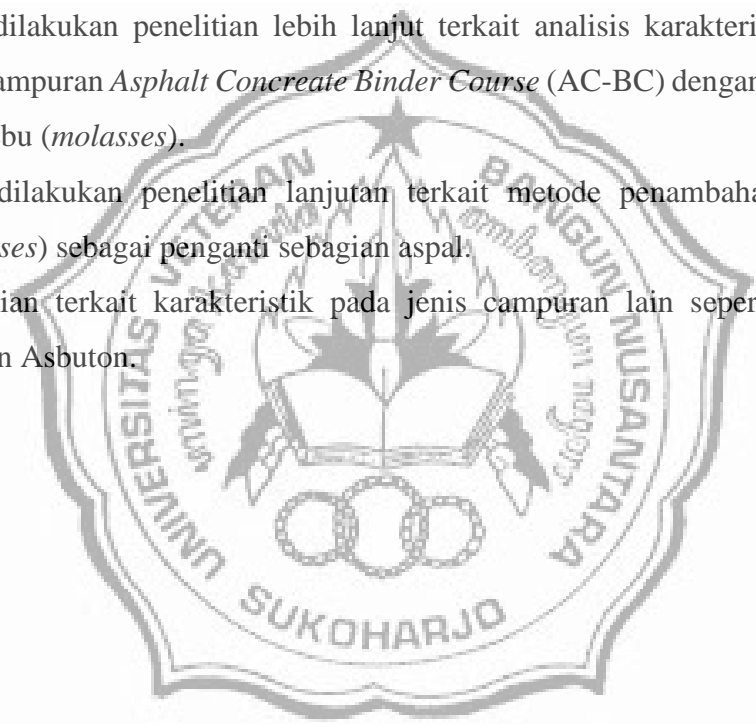
1. Penambahan tetes tebu (*molasses*) mempengaruhi nilai karakteristik *marshall*. Semakin banyak kadar tetes tebu (*molasses*) pada campuran *asphalt concrete binder course* (AC – BC) dapat meningkatkan nilai berat jenis campuran, berat jenis tertinggi pada variasi kadar tetes tebu (*molasses*) 9 % yaitu sebesar 2,426 gr/cc. Peningkatan nilai berat jenis campuran akan menurunkan nilai *void in mix* (VIM) dan *void in mineral aggregate* (VMA), dibuktikan dengan nilai *void in mix* (VIM) tertinggi yaitu pada kadar variasi penambahan tetes tebu (*molasses*) 1 % dengan nilai sebesar 4,91 % dan nilai *void in mineral aggregate* (VMA) tertinggi juga pada kadar 1 % yaitu sebesar 16,51 %. Sedangkan nilai *void filled with asphalt* (VFA) mengalami kenaikan seiring dengan penambahan kadar tetes tebu (*molasses*) pada campuran beraspal, yaitu kadar 1 % sebesar 70,28 % naik menjadi 71,48 % pada kadar 9 %. Dari pengujian stabilitas, dan *flow* diperoleh nilai tertinggi pada kadar tetes tebu (*molasses*) 1 % sebesar 1137,07 kg, sedangkan untuk kadar 3 %, 5 %, 7 %, dan 9 % memiliki nilai yang lebih rendah. Semakin rendah nilai stabilitas akan meningkatkan nilai *flow*, nilai tertinggi yaitu pada kadar 9 % sebesar 3,81 mm.
 - a. Kenaikan nilai berat jenis campuran dipengaruhi adanya penambahan limbah tetes tebu dapat meningkatkan kinerja campuran *Asphalt Concrete – Binder Course* (AC-BC), membuat rongga pada campuran menjadi kecil yang mengakibatkan penurunan pada nilai VIM, VMA, dan *flow* (kelelahan).
 - b. Dari pengujian stabilitas, dan *flow*, diperoleh nilai tertinggi pada kadar tetes tebu (*molasses*) 1 % sebesar 1137,07 kg, sedangkan untuk kadar 3 %, 5 %, 7 %, dan 9 % memiliki nilai yang lebih rendah. Semakin rendah nilai stabilitas akan menaikkan nilai *flow*, nilai tertinggi yaitu pada kadar 9 % sebesar 3,81 mm.

2. Analisis karakteristik *marshall* pada penambahan tetes tebu (*molasses*) serta limbah beton sebagai pengganti *filler* terhadap campuran beraspal *Asphalt Concrete Binder Course* (AC-BC) memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan Revisi 2.

5.2 Saran

Berdasarkan pengamatan penulis selama penelitian dan evaluasi serta analisis yang telah dilakukan, maka agar penelitian ini lebih baik perlu saran-saran antara lain sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terkait analisis karakteristik *marshall* pada campuran *Asphalt Concrete Binder Course* (AC-BC) dengan penambahan tetes tebu (*molasses*).
2. Perlu dilakukan penelitian lanjutan terkait metode penambahan tetes tebu (*molasses*) sebagai pengganti sebagian aspal.
3. Penelitian terkait karakteristik pada jenis campuran lain seperti HRS, AC, ataupun Asbuton.



DAFTAR PUSTAKA

- Antoni dan Paul Nugraha., (2007). Teknologi Beton. Penerbit C.V Andi Offset, Yogyakarta.
- Badan Standarisasi Nasional, (2002). Standar Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002). Jakarta, Indonesia.
- Damianus, (2021). Limbah Tetes Tebu Sebagai Bahan Tambah Pada Campuran Laston Lapis Antara. Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia Paulus, Makassar.
- Ilmi Futuhal, (2021). Perencanaan Jalan Raya Dengan Erkerasan Lentur Dan Perkerasan Kaku Menggunakan Metode Aashto 1993 Pada Jalan Olahbebay. Undergraduate (S1) Thesis, Universitas Muhammadiyah Malang.
- Khairani. C, S. M. Saleh, and S. Sugiarto, (2018). Uji Marshall Pada Campuran Asphalt Concrete Binder Course (Ac-Bc) Dengan Tambahan Parutan Ban Bekas, J. Tek. Sipil, vol. 1, no. 3, pp. 559-570.
- Kurniawan Nanda Ade, Sigit Winarto, Ahmad Ridwan. (2019). "Penelitian Penambahan Bahan Limbah Tetes Tebu Dari Pabrik Gula Meritjan Pada Campuran Aspal Beton", *Jurmateks*, Vol. 2, No. 1.
- Maharani, A (2018). Analisis Perbandingan Estimasi Biaya Dengan Metode Bow Dan Metode Sni Pada Proyek Peningkatan Ruas Jalan Simalas Kec. Sipispis Kab. Serdang Bedagai, Teknik Sipil Pada Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Simatupang Adven P (2021). *Analisis Tebal Lapis Tambah (Overlay) Perkerasan Lentur Menggunakan Metode Manual Desain Perkerasan 2017 (Studi Kasus: Ruas Jalan Setia Budi)*, Universitas Medan Area.
- M. P. Sidi Wedyantadji, B., & Erfan, Sidi, M. P., Wedyantadji, B., & Erfan, M. (2020). Pengaruh Penggunaan imbah Beton Sebagai Pengganti Agregat

Dalam Campuran Aspal Beton Lapis Atas Beton Sebagai Pengganti Agregat Dalam Campuran Aspal Beton Lapis Atas (AC-WC). (AC-WC). *Gelagar Gelagar*, 22(1), 36 (1), 36 - 45.

N. M. Evie Dwi Labora Bancin, Kamaluddin Lubis. (2021). "Pengaruh Penggunaan Tanah Merah Sebagai Filler Pada Campuran Aspal Ac-Bc Terhadap Nilai Marshall," vol. 5, no. 1, pp. 17– 25.

Olbrich, H. (1973). *Molasses. In: Principles of Sugar Technology, Vol. III. Elsevier Publisher Benjamin-Cummings Publishing Company. Subs of Addison Wesley Longman Inc.* ISBN 9780805345827.

Pinem. H. K. W. B, T. Pristyawati, and H. A. Safarizki, (2022) "Analysis of the influence of additional plastic waste (HDPE) as Mixed Asphalt AC-WC on Marshall Parameters," *astonjadro*, vol. 11, no. 3, p. 669.

Sukirman, Silvia (1999), *Dasar-dasar Perencanaan Geometrik Jalan*, Bandung: Spesifikasi Umum (2018). Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan Dan Jembatan Revisi 2. Kementerian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Bina Marga.Nova.

Tenrisuki. M Tenriajeng Andi, Tenrisuki M. Juma, Z. Koreňová, J. Markoš, J. Annus, E. Jelemenský (2006), Institute of Chemical and Environmental Engineering, Faculty of Chemical and Food Technology, Slovak University of Technology. (2003), *Rekayasa Jalan Raya-2*. Universitas Gunadarma, Depok.

Yulianti Fitry, (2019). *Penambahan Tete Stebu Pada Campuran Asphalt Treated Base (Abt) Ditinjau Dari Nilai Parameter Marshall*, Institut Teknologi Nasional, Malang.