

KARAKTERISTIK UJI MARSHALL CAMPURAN LASTON (AC-WC) DENGAN ABU BATA DAN SEMEN SEBAGAI BAHAN PENGISI (*FILLER*)

Ary Iqbal¹⁾, Muhammad Shalahuddin²⁾, Muhamad Yusa²⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

²⁾Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya Jl. HR Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru, Kode Pos 28293

Email : ary.iqbal6769@student.unri.ac.id

ABSTRACT

Housing development has led to increase in the demand for the production of non-structural constituent materials such as bricks. Apart from that the increased production of bricks also creates waste from the bricks themselves such as defective brick. The defect may caused by improper forms, inadequate requirements for combustion and broken stones when transporting locations. This study aims to find the Marshall characteristic value in the asphalt concrete wearing course mixture filler under conditions of optimum asphalt content with used variations of brick ash and portland cement as filler replacement with ratio of 0:100, 25:75, 50:50, 75:25 and 100:0. The method used in this study is the experimental method and descriptive analysis. The combination of these two methods identified based on facts obtained during testing and then analyzed based on literature and other supporting data. In the condition of optimum asphalt content, all variations meet the Marshall characteristics requirements. The best composition is found in variations of 100:0 (100% brick ash : 0% portland cement) with a stability value of 1280 kg and flow of 3.90 mm, with optimum asphalt content of 5.90% and VMA value of 16.00%, VFA 75.00%, VIM 3.95% and MQ 345 kg/mm.

Keywords: Brick Ash, Laston AC-WC, Filler

A. PENDAHULUAN

Pembangunan perumahan yang semakin meningkat mempengaruhi permintaan produksi bahan penyusun non struktural batu bata, Asosiasi pengembang perumahan yang tergabung dalam Real Estate Indonesia (REI) Provinsi Riau menargetkan akan membangun 15.000 rumah di seluruh kabupaten/kota setempat pada tahun 2018. Terlepas dari itu produksi batu bata yang kian meningkat juga menimbulkan limbah dari batu bata itu sendiri seperti batu bata cacat produksi yang disebabkan oleh bentuk yang tidak sesuai, kurang memenuhi syarat dalam pembakaran dan batu yang pecah saat pengangkutan kelokasi.

Bahan pengisi (*Filler*) ialah material yang berfungsi sebagai pengisi ruang kosong (*void*) di antara agregat kasar dan agregat halus pada campuran aspal, sehingga rongga udara menjadi lebih kecil dan kerapatannya menjadi lebih padat. Semua campuran beraspal harus mengandung bahan pengisi yang ditambahkan *Filler* min. 1% dari berat total agregat campuran (Bina Marga, 2010).

Filler dalam campuran aspal beton adalah bahan yang lolos saringan No.200 (0,075 mm). Beberapa macam *filler* yang dapat digunakan ialah: abu batu, kapur padam, semen portland, debu *dolomite*, abu terbang, debu tanur tinggi pembuat semen atau bahan mineral tidak plastis lainnya.

Dalam penelitian sebelumnya disebutkan variasi kadar *filler* abu terbang batu bara yang digunakan terhadap Laston AC-WC, kadar *Filler* 6% menjadi kadar yang optimum/ideal sebagai bahan pengisi dalam campuran beton aspal, dengan Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 6%. (Tahir, 2009) .

Pada penelitian lain penggunaan *filler* 5% granit dan 5% keramik yang digunakan pada campuran Laston AC-WC, diperoleh nilai variasi nilai karakteristik *Marshall* yang memenuhi persyaratan, dengan kadar aspal optimum 5%. (Fasdarsyah, 2014).

B. TINJAUAN PUSTAKA

B.1 Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan adalah konstruksi yang dibangun di atas lapisan tanah dasar

(*subgrade*), yang berfungsi untuk menopang beban lalu lintas. (Hendarsin, 2000).

B.2 Jenis dan Fungsi Lapisan Konstruksi Perkerasan Lentur

Konstruksi perkerasan lentur adalah perkerasan yang menggunakan aspal sebagai pengikat. Lapisan perkerasan bersifat memikul dan menyebarkan beban ke tanah dasar.

B.2.1 Lapisan Permukaan (*Surface Course*)

Lapisan permukaan merupakan lapisan yang terletak pada bagian atas dari jalan. Lapisan permukaan ini berfungsi sebagai menahan beban roda, kedap air, lapisan aus, dan dapat menyebarkan beban ke lapisan bawah. Guna untuk memenuhi fungsi tersebut, pada umumnya lapisan permukaan dibuat dengan menggunakan bahan pengikat aspal sehingga menghasilkan lapisan yang kedap air dengan stabilitas yang tinggi dan daya tahan yang lama.

B.2.2 Lapisan Pondasi Atas (*Base Course*)

Lapisan ini terletak diantara lapisan permukaan dan lapisan pondasi bawah. Material yang akan digunakan untuk lapis pondasi atas adalah material yang cukup kuat. Untuk lapis pondasi atas tanpa bahan pengikat umumnya menggunakan material dengan *CBR* minimum 90% dan Indeks Plastisitas (*PI*) 0 – 6. (Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3).

B.2.3 Lapisan Pondasi Bawah (*Base Course*)

Lapisan pondasi ini terletak diantara lapisan pondasi atas dan lapisan tanah dasar. Material yang digunakan untuk lapis pondasi bawah dengan klasifikasi Agregat *Base* kelas B adalah material yang menggunakan material dengan *CBR* minimum 60% dan Indeks Plastisitas (*PI*) 0 – 10. Sedangkan untuk penggunaan Agregat *Base* kelas S adalah material yang menggunakan material dengan *CBR* minimum 50% dan Indeks Plastisitas (*PI*) 4 – 15. (Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3)

B.2.4 Lapisan Tanah Dasar (*Sub Grade*)

Lapisan tanah dasar ini dapat berupa tanah asli yang dipadatkan jika tanah aslinya baik, dan tanah yang didatangkan dari tempat lain kemudian dipadatkan jika tanah aslinya kurang baik.

B.3 Parameter dan Formula Perhitungan

Parameter dan formula untuk menghitung hasil pengujian campuran aspal panas mengacu pada RSNI M-01-2003 (Bina Marga, 2003). Parameter dan formula perhitungan tersebut adalah sebagai berikut.

B.3.1 Proporsi Agregat

Penentuan rancangan proporsi agregat dapat dihitung dengan cara analitis dan grafis. Pada cara grafis proporsi dapat ditentukan dengan potongan garis lurus terhadap nilai-nilai presentase lolos ayakan saringan pada tiap-tiap fraksi, sedangkan cara analitis dapat dihitung berdasarkan syarat pada invers matrik dengan menggunakan persamaan matrik seperti pada Persamaan 1

$$\begin{aligned} [A] \cdot X &= [B] \\ [A]^{-1} \cdot [A] \cdot X &= [A]^{-1} \cdot [B] \\ I \cdot X &= [A]^{-1} \cdot [B] \\ X &= [A]^{-1} \cdot [B] \end{aligned} \quad (1)$$

Keterangan :

X : Nilai rancangan proposi agregat X_1, X_2, \dots, X_n (mewakili banyak fraksi material) (%),

[A] : Susunan bilangan matrik yang mewakili nilai lolos saringan masing-masing fraksi (%),

[B] : Susunan bilangan matrik yang mewakili nilai antara batas bawah dan batas atas gradasi agregat gabungan (%)

B.3.2 Kadar Aspal Rencana

Perkiraan kadar aspal rencana berguna untuk menentukan kadar aspal optimum dari suatu campuran beraspal. Perkiraan kadar aspal rencana dapat dihitung dengan Persamaan 2.

$$\begin{aligned} P_b &= 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) \\ &\quad + 0,18 (\%FF) + C \end{aligned} \quad (2)$$

Keterangan :

Pb : Perkiraan nilai kadar aspal tengah (%),

CA : Agregat dari saringan terbesar sampai dengan tertahan saringan no. 4 (%),

FA : Agregat yang lolos saringan no.4 sampai dengan tertahan saringan no. 200 (%),

FF : Agregat yang lolos saringan no. 200 (%),

C : Koefisien untuk Laston = 0,5 sampai 1

B.3.3 Kadar Aspal Efektif

Kadar aspal efektif (P_{be}) campuran beraspal adalah kadar aspal total dikurangi jumlah aspal yang terserap oleh partikel agregat. Kadar aspal efektif dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.

$$P_{be} = P_b \frac{P_{ba}}{100} P_s \quad (3)$$

Keterangan :

P_{be} : Kadar aspal efektif, persen total campuran, (%)

P_b : Kadar aspal, persen total campuran, (%)

P_{ba} : Penyerapan aspal, persen total agregat, (%)

P_s : Kadar agregat, persen terhadap berat total campuran, (%)

B.3.4 Berat Jenis Kering dan Semu Total Agregat

Dalam suatu campuran beraspal terdiri dari agregat kasar, halus dan bahan pengisi yang memiliki berat jenis yang berbeda – beda, baik berat jenis kering (*Bulk specific gravity*) dan berat jenis semu (*Apparent spesific gravity*). Berat jenis kering dan semu total agregat dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 4 dan 5.

$$G_s = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{s1}} + \frac{P_2}{G_{s2}} + \dots + \frac{P_n}{G_{sn}}} \quad (4)$$

Keterangan :

G_{sb} : Berat jenis kering agregat maksimum

$P_1, P_2, \dots P_n$: Persentase masing-masing proporsi agregat

$G_{sb1}, G_{sb2}, \dots G_{sbn}$: Berat jenis kering masing masing agregat

$$G_s = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{s1}} + \frac{P_2}{G_{s2}} + \dots + \frac{P_n}{G_{sn}}} \quad (5)$$

Keterangan :

G_{sa} : Berat jenis semu agregat maksimum

$P_1, P_2, \dots P_n$: Persentase masing-masing proporsi agregat

$G_{sa1}, G_{sa2}, \dots G_{san}$: Berat jenis semu masing-masing agregat

B.3.5 Berat Jenis Efektif Total Agregat

Berat jenis efektif total agregat dapat dihitung dengan Persamaan 6.

$$G_{se} = \frac{G_s + G_{sa}}{2} \quad (6)$$

Keterangan :

G_{se} : Berat jenis efektif agregat total

G_{sa} : Berat jenis semu agregat total

G_{sb} : Berat jenis kering agregat total

B.3.6 Berat Jenis Teoritis Maksimum Campuran

Berat jenis teoritis maksimum campuran pada masing-masing variasi kadar aspal diperlukan untuk menghitung kadar rongga pada masing-masing campuran dengan kadar aspal berbeda. Berat jenis teoritis maksimum dapat dihitung dengan Persamaan 7.

$$G_m = \frac{P_m}{\frac{P_s}{G_s} + \frac{P_b}{G_b}} \quad (7)$$

Keterangan :

G_{mm} : Berat jenis maksimum campuran

P_{mm} : Persentase berat terhadap total campuran (%)

P_s : Persentase agregat terhadap total campuran (%)

G_{se} : Berat jenis efektif agregat total

B.3.7 Berat Isi Benda Uji

Berat isi benda uji dapat dihitung dengan Persamaan 8.

$$G_m = \frac{A}{B - C} \quad (8)$$

Keterangan :

G_{mb} : berat isi campuran

A : berat kering benda uji (gram)

B : berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan (gram)

C : berat benda uji di dalam air (gram)

B.3.8 Rongga dalam Mineral Agregat (*Void in Mineral Aggregate, VMA*)

Rongga dalam mineral agregat adalah rongga udara yang ada di antara partikel agregat dalam campuran yang sudah dipadatkan, termasuk ruang yang berisi aspal dan dinyatakan sebagai persen volume total.

VMA dihitung berdasarkan BJ *Bulk* agregat dan dinyatakan sebagai persen volume *Bulk* campuran yang dipadatkan. Pengertian tentang VMA dapat diilustrasikan.

Nilai VMA dapat dihitung dengan Persamaan 9.

$$VMA = 100 - \frac{G_m \times P_s}{G_s} \quad (9)$$

Keterangan :

VMA: rongga udara pada mineral agregat (%)

G_{mb} : berat isi campuran

G_{sb} : berat jenis kering agregat maksimum

P_s : kadar agregat, persen terhadap berat total campuran (%)

B.3.9 Rongga dalam Campuran (*Void in Mixture, VIM*)

Rongga dalam campuran adalah ruang udara yang ada di antara partikel agregat yang telah diselubungi oleh aspal di dalam campuran yang telah dipadatkan dan dinyatakan dengan persen dari volume total. Nilai VIM dapat dihitung dengan rumus pada Persamaan 10.

$$VIM = 100 - \frac{G_m \times 100}{G_m} \quad (10)$$

Keterangan :

VIM : rongga udara pada campuran, persen dari volume total (%)

G_{mb} : berat isi campuran

G_{mm} : berat jenis maksimum campuran

B.3.10 Rongga Udara yang Terisi Aspal (*Void Filled Asphalt, VFA*)

Rongga terisi aspal adalah persen volume rongga di dalam rongga terisi aspal, tidak termasuk aspal yang diserap agregat. Nilai VFA dapat dihitung dengan Persamaan 11.

$$VFA = 100 \times \frac{VMA - VIM}{VMA} \quad (11)$$

Keterangan :

VFA: rongga udara yang terisi aspal (%)

VIM: rongga udara pada campuran, persen dari volume total (%)

VMA: rongga udara pada mineral agregat (%)

B.4 Pengujian Campuran Aspal Beton

Campuran aspal beton dibentuk oleh agregat, aspal dan atau bahan tambahan yang dicampur dan dipadatkan pada suhu tertentu. Pengujian untuk campuran aspal beton antara lain pengujian volumetrik dan pengujian *Marshall*.

B.4.1 Pengujian Volumetrik

Pengujian *volumetrik* dilakukan untuk mendapatkan berat jenis campuran dan untuk analisa rongga dalam campuran. Pengujian volumetrik berupa pengukuran tinggi, diameter, berat kering, berat dalam air dan berat jenuh kering permukaan benda uji.

B.4.2 Pengujian Marshall

Pengujian *Marshall* merupakan pengujian untuk menentukan karakteristik dari suatu campuran beraspal yang dilihat dari nilai stabilitas, kelelahan (*flow*) dan *Marshall Quotient (MQ)*.

A. Stabilitas Marshall

Stabilitas benda uji adalah hasil yang diperoleh dari pembacaan arloji stabilitas pada saat pengujian yang telah dikali dengan kalibrasi alat dan faktor koreksi benda uji. Nilai stabilitas dapat dihitung dengan Persamaan 12

$$S = s \times k \times kb \quad (12)$$

Keterangan :

S : Nilai stabilitas *Marshall* (kg)

s : Pembacaan nilai stabilitas pada proving ring dial (kg)
 k : Nilai kalibrasi alat *Marshall*
 kb : Angka koreksi benda uji

B. Kelelahan (*Flow*)

Kelelahan adalah besarnya deformasi vertikal yang terjadi pada benda uji mulai saat awal pembebanan hingga benda uji mencapai batas maksimum stabilitas, sehingga benda uji sampai batas runtuh yang dinyatakan dalam satuan mm.

C. Hasil Bagi *Marshall* (*Marshall Quotient*)

Marshall Quotient adalah indikator kelenturan yang potensial terhadap keretakan perkerasan. Nilai MQ adalah hasil bagi nilai stabilitas dengan nilai *flow* yang dapat dihitung dengan Persamaan 13.

$$MQ = \frac{MS}{MF} \quad (13)$$

Keterangan :

MQ : *Marshall Quotient* (kg/mm)

MS : *Marshall Stability* (kg)

MF : *Marshall flow*(mm)

B.5 Kadar Aspal Optimum (KAO)

Kadar Aspal Optimum (KAO) adalah kadar aspal yang menghasilkan sifat campuran perkerasan yang terbaik dan telah memenuhi persyaratan Bina Marga.

C. METODOLOGI PENELITIAN

C.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen dan deskriptif analisis. Penelitian ini digunakan Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3 sebagai acuan untuk menentukan campuran Laston *Asphalt Concrete Wearing Course* dan pelaksanaan pengujiannya digunakan Standar Nasional Indonesia (SNI) yang berkaitan dengan pengujian Laston.

C.2 Tahapan Pendahuluan

C.2.1 Pengambilan Material

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah agregat kasar dan medium (agregat tertahan saringan no.4),

agregat halus (agregat lolos saringan no. 4 dan pasir), aspal (Pen. 60/70), *Filler* atau bahan pengisi (abu bata dan semen *portland*).

Agregat berasal dari Kabupaten Kampar yang diperoleh dari *quarry* PT. Virajaya Riau Putra, limbah pecahan batu bata yang berasal dari Kecamatan Tenayan Raya Kota Pekanbaru yang diproses menjadi material lolos saringan no. 200 dan aspal (Pen. 60/70) merk Cosmic diperoleh dari PT. Cosmic Indonesia Cabang Pekanbaru.

C.2.2 Pengujian Material

Pengujian Material untuk memperoleh nilai parameter yang akan digunakan sebagai campuran laston AC-WC yang diisyaratkan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3

C.2.3 Pengujian Material

Pengujian Material untuk memperoleh nilai parameter yang akan digunakan sebagai campuran Laston *Asphalt Concrete Wearing Course* yang diisyaratkan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3.

C.2.4 Proporsi Agregat

Penelitian ini menggunakan cara analitis dalam menentukan proporsi agregatnya. Proporsi agregat menggunakan metode analitis matrik dengan diambil 4 baris pada tabel yaitu 4 fraksi sehingga menggunakan matrik 4x4 sebagaimana pada Tabel 1.

Setelah ditentukan fraksi yang digunakan untuk perhitungan matrik, tentukan batas atas dan batas bawah sebagaimana pada Tabel 2.

Tabel 1 Gradasi Masing-masing Fraksi

Nomor Saringan	Gradasi Masing – masing fraksi (Persentasi Lolos Saringan)	Spesifikasi Lolos Saringan					
		Batas Bawah	Batas Atas				
mm	inch	Fraksi 1	Fraksi 2	Fraksi 3	Fraksi 4	Batas Bawah	Batas Atas
19,00	3/4"	100,00	100,00	100,00	100,00	100	100
12,50	1/2"	52,00	100,00	100,00	100,00	90	100
9,50	3/8"	26,30	100,00	100,00	100,00	77	90
4,75	No. 4	15,37	58,69	100,00	100,00	53	69
2,360	No. 8	9,04	13,72	55,07	97,65	33	53
1,18	No. 16	2,90	4,10	45,64	89,24	21	40
0,60	No. 30	2,75	3,68	37,94	80,37	14	30
0,300	No. 50	2,68	3,27	31,51	53,54	9	22
0,15	No. 100	2,25	2,86	28,27	20,15	6	15
0,075	No. 200	1,76	2,38	15,65	13,39	4	9

Tabel 2 Proporsi Agregat menggunakan Metode Analitis Matrik

Nomor Saringan		Gradasi Masing-masing Fraksi (Persentase Lolos Saringan)				Spesifikasi Lolos Saringan		
mm	inch	Fraksi 1	Fraksi 2	Fraksi 3	Fraksi 4	Batas Bawah	Trial and Error	Batas Atas
12,50	1/2"	52,00	100,00	100,00	100,00	90	91	100
4,75	No. 4	15,37	58,69	100,00	100,00	53	67	69
0,60	No. 30	2,75	3,68	37,94	80,37	14	22	30
0,15	No. 100	2,25	2,86	28,27	20,15	6	12	15

Dari fraksi tersebut diambil nilai yang mewakili masing-masing fraksi digabungkan menjadi satu susunan bilangan matrik dengan nilai hasil adalah bilangan matrik nilai antara batas atas dan batas bawah persentase lolos saringan tersebut.

Berdasarkan Teori Matriks, diperoleh nilai proporsi masing-masing fraksi. Adapun langkah-langkah menentukan proposi agregat menggunakan metode analitis matrik adalah sebagai berikut :

1. Menentukan susunan bilangan matriks dari matrik [A] dan matrik [B],

$$[A] = \begin{bmatrix} 52,00 & 100,00 & 100,00 & 100,00 \\ 15,37 & 58,69 & 100,00 & 100,00 \\ 2,75 & 3,86 & 37,94 & 80,37 \\ 2,25 & 2,86 & 28,27 & 20,15 \end{bmatrix}$$

$$\text{dan } [B] = \begin{bmatrix} 91,00 \\ 67,00 \\ 22,00 \\ 12,00 \end{bmatrix}$$

2. Menggunakan Persamaan 1, syarat invers matrik adalah dengan determinan matriks [A] untuk mencari nilai dari invers matriks $[A]^{-1}$. $\text{Det } [A] = -4.667.000$ kemudian cari nilai dari invers matrik [A]

$$[A]^{-1} = \frac{1}{|A|} \cdot [A]$$

$$[A]^{-1} = \frac{1}{-4.667.000} \cdot \begin{bmatrix} 52,00 & 100,00 & 100,00 & 100,00 \\ 15,37 & 58,69 & 100,00 & 100,00 \\ 2,75 & 3,68 & 37,94 & 80,37 \\ 2,25 & 2,86 & 28,27 & 20,15 \end{bmatrix}$$

$$[A]^{-1} = \begin{bmatrix} 0,03309 & -0,06120 & 0,01514 & 0,07909 \\ -0,00514 & 0,03006 & -0,01342 & -0,07013 \\ -0,00222 & 0,00199 & -0,01324 & 0,05396 \\ 0,00015 & -0,00023 & 0,01879 & -0,02496 \end{bmatrix}$$

3. Setelah nilai invers matriks $[A]^{-1}$ diperoleh lakukan operasi perkalian matriks untuk mencari nilai X dengan syarat nilai matrik memiliki jumlah baris yang sama.

$$X = [A]^{-1} \cdot [B]$$

$$= \begin{bmatrix} 0,03309 & -0,06120 & 0,01514 & 0,07909 \\ -0,00514 & 0,03006 & -0,01342 & -0,07013 \\ -0,00222 & 0,00199 & -0,01324 & 0,05396 \\ 0,00015 & -0,00023 & 0,01879 & -0,02496 \end{bmatrix}$$

$$\cdot \begin{bmatrix} 91,00 \\ 67,00 \\ 22,00 \\ 12,00 \end{bmatrix} \text{ maka, } X = \begin{bmatrix} 0,19 \\ 0,41 \\ 0,29 \\ 0,11 \end{bmatrix}$$

4. Setelah nilai dari X diketahui, cek jumlah nilai ketelitian dengan menjumlahkan seluruh bilangan X, yaitu nilai $\sum X = 1,00$

5. Kemudian jabarkan susunan bilangan X, sebagai berikut :

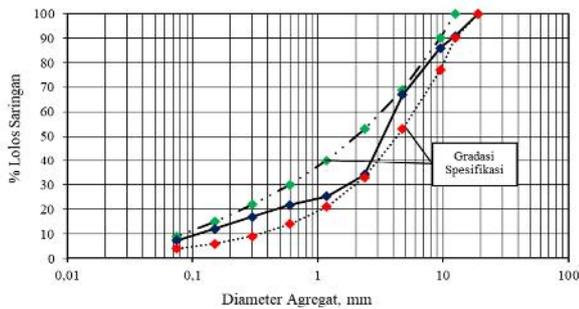
$$\begin{array}{l}) X_1 = 0,19 \longrightarrow \text{Fraksi 1} \\) X_2 = 0,41 \longrightarrow \text{Fraksi 2} \\) X_3 = 0,29 \longrightarrow \text{Fraksi 3} \\) X_4 = 0,11 \longrightarrow \text{Fraksi 4} \end{array}$$

6. Setelah nilai proporsi masing-masing agregat diperoleh, kemudian plotkan data data proporsi yang telah dihitung berdasarkan nilai persentase lolos ayakan masing – masing fraksi sesuai ukuran saringan yang diisyaratkan. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 1.

$$\begin{array}{l}) \text{Fraksi 1} = 19\% \text{ Fraksi Agregat Kasar} \\) \text{Fraksi 2} = 41\% \text{ Fraksi Agregat Medium} \\) \text{Fraksi 3} = 29\% \text{ Fraksi Agregat Halus} \\) \text{Fraksi 4} = 11\% \text{ Fraksi Pasir} \end{array}$$

Tabel 3 Proporsi Agregat Gabungan AC-WC

Nomor Saringan	Perkiraan Proporsi Masing-masing Fraksi	Spesifikasi Lolos Saringan						
		Batas Bawah	Batas Atas					
mm	inch	19%	41%	29%	11%	Jumlah 100%		
19,00	3/4"	19,00	41,00	29,00	11,00	100,00	100	100
12,50	1/2"	9,88	41,00	29,00	11,00	90,88	90	100
9,50	3/8"	5,00	41,00	29,00	11,00	86,00	77	90
4,75	No. 4	2,92	24,06	29,00	11,00	66,98	53	69
2,360	No. 8	1,72	5,63	15,97	10,74	34,06	33	53
1,18	No. 16	0,55	1,68	13,24	9,82	25,28	21	40
0,60	No. 30	0,52	1,51	11,00	8,84	21,87	14	30
0,300	No. 50	0,51	1,34	9,14	5,89	16,88	9	22
0,15	No. 100	0,43	1,17	8,20	2,22	12,02	6	15
0,075	No. 200	0,33	0,98	4,54	1,47	7,32	4	9



Gambar 1 Grafik Gradasi Agregat Gabungan AC-WC

7. Jika pada perhitungan nilai $\sum X \neq 1,00$ maka ulangi tahapan perhitungan rancangan proporsi agregat dari point 1 sampai dengan poin 6. Pengulangan juga harus dilakukan jika nilai $\sum X = 1,00$ dan nilai hasil plotting masing – masing nilai X kedalam grafik gradasi gabungan tidak berada dibatas atas dan batas bawah gradasi agregat gabungan.

C.2.5 Perkiraan Kadar Aspal dan Jumlah Sampel

Penentuan kadar aspal rencana ditentukan dengan menggunakan Persamaan 2. Untuk mendapatkan kadar aspal yang optimum, maka dibuat benda uji dengan rentang 2 kadar aspal di bawah kadar aspal tengah dan 2 kadar aspal di atas kadar aspal tengah (-1,0%; -0,5%; P; +0,5%; +1%). Perkiraan kadar aspal tengah rencana

$$\begin{aligned}
 P_b &= 0,035(\%CA) + 0,045(\%FA) + \\
 & 0,18(\%FF) + C \\
 &= 0,035 (100 - 19,00) + 0,045 (29,00 - \\
 & 5,85) + 0,18 (5,85) + 1 \\
 &= 5,92\% \quad 6\%
 \end{aligned}$$

Kemudian ditentukan nilai variasi kadar aspal tengah (-1,0%; -0,5%; +0,5%; +1%) rencana untuk menentukan KAO adalah 5%; 5,5%; 6%; 6,5% dan 7%.

Berdasarkan variasi kadar aspal, kadar agregat dan jenis pengujian yang akan dilakukan, maka jumlah benda uji yang dibutuhkan diuraikan pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4 Jumlah Spesimen Uji Marshall

Kadar Aspal (%)	Perbandingan Antara Filler Abu Bata dan Semen Portland					Jumlah Sampel (bh)
	0:100	25:75	50:50	75:25	100:0	
	A	B	C	D	E	
5	3	3	3	3	3	15
5,5	3	3	3	3	3	15
6	3	3	3	3	3	15
6,5	3	3	3	3	3	15
7	3	3	3	3	3	15
Total						75

C.2.6 Perkiraan Kebutuhan Material

Setelah rancangan proporsi campuran agregat gabungan dan perkiraan kadar aspal rencana ditentukan maka tahapan selanjutnya adalah memperkirakan kebutuhan material dan banyaknya agregat yang diperlukan masing-masing variasi kadar aspal dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6.

Tabel 5 Berat Agregat yang diperlukan untuk Satu Campuran pada Masing-masing Variasi Kadar Aspal

Nomor Saringan	% Agregat Terhadap Lolos saringan	Jumlah Agregat yang diperlukan berdasarkan Variasi Kadar Aspal					
		5%	5,5%	6%	6,5%	7%	
		gr	gr	gr	gr	gr	
19	3/4"	9,12	103,97	103,43	102,88	102,33	101,78
12,5	1/2"	4,88	55,67	55,38	55,08	54,79	54,50
9,5	3/8"	19,02	216,78	215,64	214,49	213,35	212,21
2,36	No. 8	32,67	372,39	370,43	368,47	366,51	364,55
1,18	No. 16	7,85	89,46	88,99	88,52	88,05	87,58
0,6	No. 30	2,43	27,76	27,61	27,46	27,32	27,17
0,3	No. 50	2,04	23,29	23,16	23,04	22,92	22,80
0,15	No. 100	1,19	13,57	13,50	13,43	13,36	13,28
0,075	No. 200	3,95	45,05	44,81	44,57	44,33	44,10
	Pan/Filler	5,85	66,67	66,32	65,97	65,62	65,27
	Pasir	11	125,40	124,74	124,08	123,42	122,76
	Aspal		60	66	72	78	84
	Total (gr)	100,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00

Tabel 6 Berat Agregat yang diperlukan untuk Satu Campuran pada masing-masing Variasi Kadar Aspal

Kadar Aspal %	Variasi Filler %	Kode Campuran	Filler		Total gr
			Abu Bata gr	Semen Portland gr	
5	0 : 100	A	0,00	66,67	66,67
	25 : 75	B	16,67	50,00	
	50 : 50	C	33,33	33,33	
	75 : 25	D	50,00	16,67	
	100 : 0	E	66,67	0,00	
5,5	0 : 100	A	0,00	66,32	66,32
	25 : 75	B	16,58	49,74	
	50 : 50	C	33,16	33,16	
	75 : 25	D	49,74	16,58	
	100 : 0	E	66,32	0,00	
6	0 : 100	A	0,00	65,97	65,97
	25 : 75	B	16,49	49,48	
	50 : 50	C	32,98	32,98	
	75 : 25	D	49,48	16,49	
	100 : 0	E	65,97	0,00	
6,5	0 : 100	A	0,00	65,62	65,62
	25 : 75	B	16,40	49,21	
	50 : 50	C	32,81	32,81	
	75 : 25	D	49,21	16,40	
	100 : 0	E	65,62	0,00	
7	0 : 100	A	0,00	65,27	65,27
	25 : 75	B	16,32	48,95	
	50 : 50	C	32,63	32,63	
	75 : 25	D	48,95	16,32	
	100 : 0	E	65,27	0,00	
	Jumlah (gr)		824,59	824,59	

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

D.1 Hasil Pengujian Bahan Penyusun

Pengujian ini bertujuan untuk melihat apakah material yang digunakan layak untuk bahan campuran Laston dan memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 revisi 3.

D.1.1 Hasil Pengujian Agregat

Agregat yang diuji dalam penelitian ini adalah agregat kasar lolos saringan 3/4” sampai lolos saringan 3/8”, agregat sedang lolos saringan no. 4 sampai tertahan saringan no. 200 dan agregat halus adalah agregat yang lolos saringan no. 200. Hasil pengujian agregat dapat dilihat pada Tabel 7 dan Tabel 8.

Tabel 7 Hasil Pengujian Agregat Kasar

Pengujian	Standar	Hasil Pengujian	Spesifikasi		Keterangan Diuji	
			Min	Maks	Ya	Tidak
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan (%)	natrium sulfat magnesium sulfat SNI 3407:2008	-		12		
Abrasi dengan mesin Los Angeles (%)	Campuran AC Modifikasi Semua jenis AC bergradasi lainnya 100 putaran 500 putaran 100 putaran 500 putaran	-		6 30 8 40		
Kelekatan agregat terhadap aspal (%)	SNI 2439:2011	39,56		95		
Butir pecah pada agregat kasar (%)	SNI 7619:2012	-		95/90		
Partikel pipih dan lonjong (%)	ASTM D4791	-		10		
Berat Jenis Bulk		2,55				
Berat Jenis SSD	SNI 03-1969-1990	2,59				
Berat Jenis Apparent		2,65				
Penyerapan		1,37		3%		
Kekuatan agregat terhadap tumbukan (AIV)	BS 812:Part 3:1975	7,00				

Tabel 8 Hasil Pengujian Agregat Halus

Pengujian	Standar	Hasil Pengujian	Spesifikasi		Keterangan Diuji	
			Min	Maks	Ya	Tidak
Nilai setara pasir (%)	SNI 03-4428-1997	-		60		
Angularitas dengan uji kadar rongga (%)	SNI 03-6877-2002	47,57		45		
gumpalan lempung dan butir - butir mudah pecah dalam agregat (%)	SNI 03-4141-1996	-		1		
Agregat lolos ayakan No. 200 (%)	SNI ASTM C117:2012	-		10		
Berat Jenis Bulk		2,63				
Berat Jenis SSD	SNI 03-1969-1990	2,67				
Berat Jenis Apparent		2,73				
Penyerapan		1,33%		3%		

D.1.2 Hasil Pengujian Filler

Filler yang digunakan pada penelitian ini adalah Semen Portland dan Abu Bata. Pengujian bahan Filler dilakukan dengan dua cara yaitu pengujian saringan no. 200 dan pengujian berat jenis. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9 Hasil Pengujian Filler

Pengujian	Standar	Syarat (%)	Hasil Pengujian	
			Semen Portland	Abu Bata
Lolos saringan no. 200	SNI ASTM C136:2012	75	80,66	78,54
Berat jenis	SNI 15-2531-1991	-	-	2,530

Berat jenis semen Portland digunakan data sekunder dari pengujian sebelumnya dengan nilai sebesar 3,15

D.1.3 Hasil Pengujian Aspal

Aspal yang digunakan adalah aspal dengan penetrasi 60/70 merek Cosmic. Hasil pengujian aspal dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10 Hasil Pengujian Aspal Penetrasi 60/70

Sifat-sifat Material Yang Diuji	Standar Uji	Satuan	Hasil Uji	Spesifikasi		Keterangan Diuji	
				Min	Maks	Ya	Tidak
Penetrasi, 25 °C, 100 gram, 5 detik	SNI-06-2456-1991	Dmm	62,2	60	70		
Penetrasi, (Setelah TFOT)	SNI-06-2456-1992	%	-	54			
Titik Lembek (Softening Point)	SNI 2434:2011	°C	55,85	48			
Titik Nyala degan Cleveland Open Cup	SNI 2433:2011	°C	245	232			
Daktilitas, 25 °C, 5 cm/menit	SNI 2432:2011	Cm	147,5	100			
Daktilitas, (Setelah TFOT)	SNI 2432:2012	Cm	-	100			
Berat Jenis	SNI 2441:2011		1,032	1			
Kehilangan Berat (TFOT)	SNI-06-2441-1991	% berat	0,022		0,8		
Viskositas Suhu pemadatan ideal (viscositas = 280 cS)		°C	147				
Suhu pemadatan Min 250°C	AASHTO T 72-90	°C	149	135	155		
Suhu pemadatan Max 310°C		°C	145				
Suhu pencampuran ideal (viscositas = 170 cS)		°C	155	149	160		
Suhu pencampuran Min 150°C	AASHTO T 54-61	°C	156				
Suhu pencampuran Max 190°C		°C	153				

D.2 Hasil Pengujian Bahan untuk Specimen

Karakteristik campuran aspal beton dapat diketahui dengan menganalisis nilai berat isi, VIM, VMA, VFA, stabilitas, flow dan MQ. Untuk dapat menentukan nilai-nilai tersebut diperlukan data hasil pengujian volumetrik benda uji Marshall, pengujian analisa saringan, berat jenis agregat dan berat jenis aspal sebagaimana pada Tabel 11.

Tabel 11 Data Perhitungan Sebelum Pembuatan Specimen Benda Uji

Uraian	Berat Jenis		Proporsi Dalam Campuran (%)
	Kering (Bulk)	Semu (Apparent)	
Agregat Kasar (19 mm s.d 2,36 mm)	2,55	2,65	19
Agregat Sedang (0,6 mm s.d 0,075 mm)	2,63	2,73	41
Agregat Halus (< 0,075 mm)	2,54	2,57	29
Pasir (< 0,075 mm)	2,61	2,64	11
Aspal PEN 60/70		1,032	5

D.3 Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) Campuran AC-WC

Metode yang digunakan dalam penentuan KAO adalah menggunakan SNI 06-2489-1991 dengan menganalisis karakteristik *Marshall*.

Kemudian dari data di atas dibuatkan dalam bentuk grafik karakteristik *Marshall* dan dibuat garis trendline polinomial yang akan digunakan sebagai acuan dalam penentuan Kadar aspal optimum (KAO)

Tabel 12 Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* untuk Mencari KAO

Sifat - Sifat Material Yang Diuji (Nilai Rata - Rata)	Variasi Kadar Aspal Rencana (%)	Hasil Pengujian Campuran Aspal					Spesifikasi	
		Variasi Filler (Abu Bata : Semen Portland)					Min.	Maks.
		0%:100%	25%:75%	50%:50%	75%:25%	100%:0%		
		A	B	C	D	E		
% Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA), %	5,0	16,30	15,00	15,02	15,10	15,02	15	
	5,5	19,03	15,13	16,10	15,01	15,97		
	6,0	15,70	15,56	16,04	16,67	15,89		
	6,5	16,63	15,64	16,70	16,67	16,59		
	7,0	17,13	17,51	18,57	17,90	16,77		
% Rongga Dalam Campuran (VIM), %	5,0	6,32	4,87	4,89	4,98	4,90	3	5
	5,5	8,25	3,83	4,93	3,69	4,78		
	6,0	3,28	3,13	3,68	4,40	3,50		
	6,5	3,16	2,01	3,25	3,21	3,12		
	7,0	2,55	3,00	4,24	3,46	2,12		
% Rongga Terisi Aspal (VFA), %	5,0	61,26	67,54	67,77	67,14	67,43	65	
	5,5	56,64	74,92	69,41	75,49	70,05		
	6,0	79,12	79,91	77,37	73,62	78,22		
	6,5	80,98	87,16	80,74	80,75	81,25		
	7,0	85,13	82,88	77,18	80,70	87,39		
Stabilitas, Kg	5,0	1360,80	1295,61	961,55	1369,11	1372,36	800	
	5,5	1309,88	1214,36	1019,88	1291,10	1137,61		
	6,0	1069,90	1363,33	1202,80	1199,04	1485,22		
	6,5	1119,55	1151,16	1002,18	1191,78	1133,10		
	7,0	1182,76	948,01	866,75	1162,75	1241,44		
Kelelahan (Flow), mm	5,0	3,55	3,35	4,51	3,40	3,54	2	4
	5,5	3,82	3,00	3,48	3,82	3,83		
	6,0	3,68	3,10	3,29	3,11	3,60		
	6,5	3,37	3,06	3,43	3,83	4,52		
	7,0	3,45	3,16	3,90	5,03	4,36		
Marshall Quotient (Kg/mm)	5,0	384,50	391,83	213,81	401,80	387,50	250	
	5,5	353,95	400,21	303,02	341,79	306,16		
	6,0	290,86	443,27	369,64	396,29	422,83		
	6,5	334,12	375,86	293,31	316,13	252,42		
	7,0	345,58	304,65	222,22	233,03	287,04		

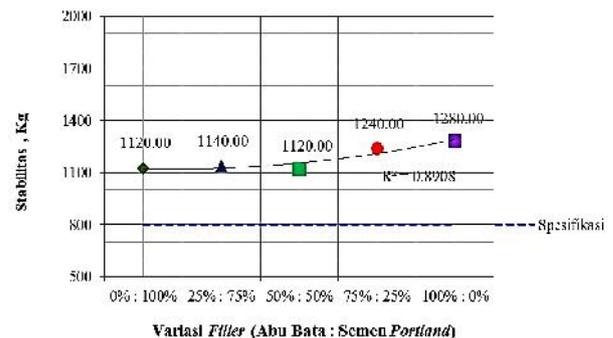
Setelah seluruh nilai karakteristik *Marshall* pada seluruh specimen sudah dituangkan kedalam grafik maka selanjutnya adalah menentukan nilai tengah terhadap nilai batas awal dan batas akhir pada nilai karakteristik *Marshall* yang memenuhi persyaratan, tersebut untuk mencari nilai kadar aspal optimum (KAO) seperti pada Tabel 13 dibawah ini.

Tabel 13 Penentuan Kadar Aspal Optimum

No	Kriteria	Spesifikasi	Kadar Aspal
1	Satability (Kg)	800	
2	Flow (mm)	2 - 4	
3	VIM (%)	3 - 5	
4	VFA (%)	Min 65	
5	VMA (%)	Min 15	
6	MQ (Kg/mm)	Min 250	
KAO (%)			$\frac{(5,9 + 6,7)}{2}$ = 6,30%

Dari gambar grafik dan tabel di atas diperoleh kadar aspal optimum untuk komposisi 0% abu bata dan 100% semen portland adalah 6,30%. Sedangkan untuk komposisi 25% abu bata dan 75% semen portland KAO 6,55%. Untuk komposisi 50% abu bata dan 50% semen portland diperoleh KAO 6,08%. Untuk komposisi 75% abu bata dan 25% semen portland diperoleh KAO 5,80%. Untuk komposisi 100% abu bata dan 0% semen portland diperoleh KAO 5,90%.

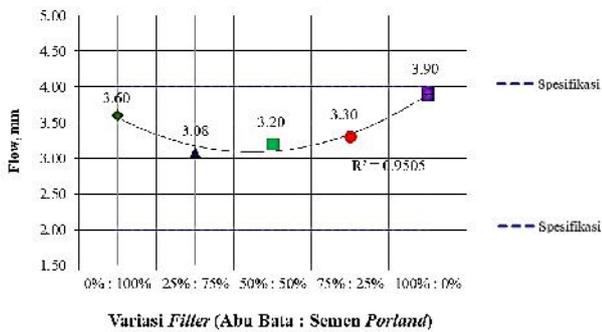
D.3.1 Rekapitulasi Karakteristik *Marshall* pada Nilai Stabilitas Terhadap Nilai Kadar Aspal Optimum (KAO)



Gambar 2 Grafik Perbandingan Nilai Stabilitas pada tiap Variasi Filler dengan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Dari Gambar 2 diatas, menunjukkan pergantian *Filler* menggunakan abu bata yang memiliki butiran lebih kasar dari pada semen portland dapat menambah nilai dari stabilitas campuran dengan Kadar aspal optimum (KAO) sebesar 5,90%.

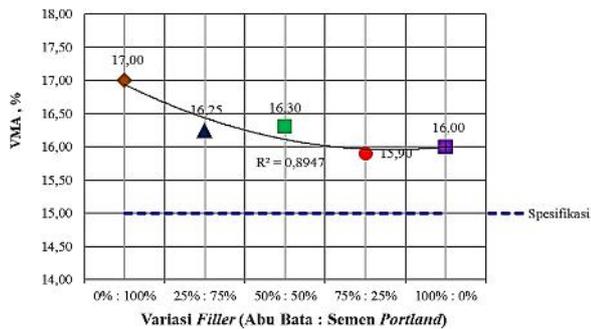
D.3.2 Rekapitulasi Karakteristik *Marshall* pada Nilai *Flow* Terhadap Nilai Kadar Aspal Optimum (KAO)



Gambar 3 Grafik Perbandingan Nilai *Flow* pada tiap Variasi *Filler* dengan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Berdasarkan nilai tersebut pergantian *filler* menggunakan abu bata (100:0) dapat menambah kelenturan dari pada dengan penggunaan kadar aspal yang relatif kecil.

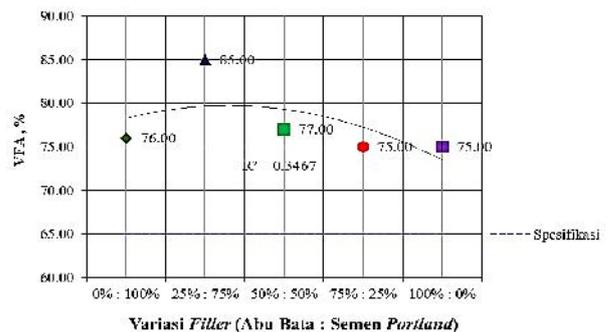
D.3.3 Rekapitulasi Karakteristik *Marshall* pada Nilai *VMA* Terhadap Nilai Kadar Aspal Optimum (KAO)



Gambar 4 Grafik Perbandingan Nilai *VMA* pada tiap Variasi *Filler* dengan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Jika ditinjau dari kadar aspal, semakin bertambahnya kadar aspal akan membuat nilai *VMA* suatu campuran semakin meningkat. Pada penelitian ini, nilai *VMA* tertinggi terdapat pada variasi *Filler* 50:50 dengan nilai KAO 6,08% sebesar 16,30.

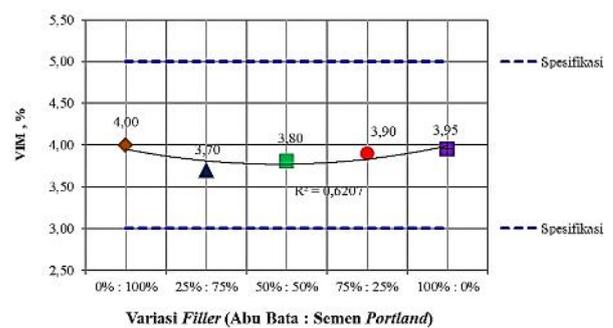
D.3.4 Rekapitulasi Karakteristik *Marshall* pada Nilai *VFA* Terhadap Nilai Kadar Aspal Optimum (KAO)



Gambar 5 Grafik Perbandingan Nilai *VMA* pada tiap Variasi *Filler* dengan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa nilai *VFA* pada masing-masing komposisi penggantian *Filler* berada di atas spesifikasi yang disyaratkan yaitu 65%. Dari grafik dapat dilihat bahwa nilai *VFA* paling rendah terdapat pada komposisi agregat 100:0 sebesar 75,00%, sedangkan nilai *VFA* paling tinggi terdapat pada komposisi agregat 25:75 yaitu sebesar 85,00%.

D.3.5 Rekapitulasi Karakteristik *Marshall* pada Nilai *VIM* Terhadap Nilai Kadar Aspal Optimum (KAO)

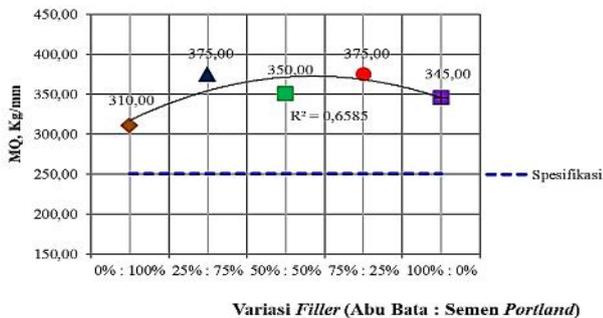


Gambar 6 Grafik Perbandingan Nilai *VIM* pada tiap Variasi *Filler* dengan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Dari Gambar 6 dapat dilihat penggunaan sebagian maupun secara keseluruhan abu bata sebagai *filler* dapat memenuhi nilai *VIM* yang diisyaratkan dengan nilai yang cenderung mengalami

perubahan seiring dengan bertambahnya jumlah kadar aspal dan berkurangnya jumlah *filler* yang terkandung di dalam campuran.

D.3.6 Rekapitulasi Karakteristik *Marshall* pada Nilai *MQ* Terhadap Nilai Kadar Aspal Optimum (KAO)



Gambar 7 Grafik Perbandingan Nilai *MQ* pada tiap Variasi *Filler* dengan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Pada Gambar 7 dapat dilihat bahwa nilai *MQ* untuk setiap variasi *Filler* lebih besar dari spesifikasi yang disyaratkan yaitu 250 kg/mm. Nilai *MQ* tertinggi terdapat pada komposisi *Filler* 25:75 dan 75:25 yaitu 375,00 kg/mm.

Kenaikan dan penurunan nilai *MQ* dipengaruhi oleh stabilitas dan *flow* pada campuran. Stabilitas yang kecil dan *flow* yang besar menghasilkan campuran yang lunak dan mudah berubah bentuk jika terbebani beban. Nilai karakteristik *Marshall* pada tiap variasi *Filler* mengalami kenaikan dan penurunan yang dipengaruhi oleh penggantian *Filler* yang mempengaruhi nilai *flow* dari campuran itu sendiri.

Dari grafik perbandingan, nilai Stabilitas, *Flow*, *VMA*, *VFA* dan *MQ* masuk dalam spesifikasi yang disyaratkan pada setiap variasi yang digunakan. Dari variasi *Filler* diatas terdapat kekurangan dan kelebihan masing-masing. Variasi *Filler* direkomendasikan untuk perkerasan jalan sesuai dengan kebutuhan perencanaan jalan raya. Dari hasil penelitian variasi *Filler* pada kondisi aspal optimum didapat nilai stabilitas, *flow*, *VMA*, *VIM*, *VFA* dan *MQ* memenuhi

persyaratan. Untuk hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 14.

Tabel 14 Akumulasi Nilai Karakteristik *Marshall* pada Tiap Variasi *Filler* dengan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Sifat-sifat Material yang Diuji	Variasi <i>Filler</i>				
	0:100	25:75	50:50	75:25	100:0
Rongga Dalam Mineral Agregat (<i>VMA</i>), %	17,00	16,25	16,30	15,90	16,00
Rongga Dalam Campuran (<i>VIM</i>), %	4,00	3,70	3,80	3,90	3,95
Rongga Terisi Aspal (<i>VFA</i>), %	76,00	85,00	77,00	75,00	75,00
Stabilitas (Dengan Kalibrasi Alat), Kg	1120,00	1140,00	1120,00	1240,00	1280,00
Kelelahan (<i>Flow</i>), mm	3,60	3,08	3,20	3,30	3,90
<i>Marshall Quotient (MQ)</i> , Kg/mm	310,00	375,00	350,00	375,00	345,00
KAO, %	6,30	6,55	6,08	5,80	5,90

E. KESIMPULAN DAN SARAN

E.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan pengaruh penggunaan kombinasi *Filler* abu bata dan semen portland terhadap nilai karakteristik *Marshall* pada campuran AC-WC pada kondisi kadar aspal optimum variasi *Filler* 0:100, 25:75, 50:50, 75:25 dan 100:0 memenuhi karakteristik *Marshall*. dengan masing nilai karakteristik *Marshall* sebagai berikut:

1. Karakteristik *Marshall* meliputi stabilitas, *flow*, *VMA*, *VFA*, *VIM*, *MQ* dari hasil pengujian dan nilai masing masing karakteristik pada saat kondisi KAO berada di atas batas yang disyaratkan oleh spesifikasi umum yang dikeluarkan Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga 2010 Revisi 3. Pada hasil pengujian karakteristik *Marshall* menggunakan variasi *filler* abu bata dan semen portland menunjukkan hasil sebagai berikut:
 - a. Stabilitas memenuhi spesifikasi yang diisyaratkan dan nilai tertinggi yaitu, 1280 kg yang terdapat pada variasi *Filler* 100:0 (100% abu bata : 0% semen *portland*) dengan peningkatan sebesar 14% terhadap campuran yang tidak menggunakan abu bata sebagai *filler*.
 - b. *Flow* memenuhi spesifikasi yang diisyaratkan dan nilai tertinggi yaitu, 3,90 mm yang terdapat pada variasi *Filler* 100:0 (100% abu bata : 0% semen *portland*). Sedangkan nilai terendah yaitu, 3,08 mm yang

- terdapat pada variasi 25:75 (25% abu bata : 75% semen *portland*). Peningkatan terjadi sebesar 8% terhadap campuran yang tidak menggunakan abu bata sebagai *filler*.
- c. *VMA* memenuhi spesifikasi yang diisyaratkan dan nilai tertinggi yaitu, 17,00% yang terdapat pada variasi *Filler* 0:100 (0% abu bata : 100% semen *portland*).
 - d. *VFA* memenuhi spesifikasi yang diisyaratkan dan nilai tertinggi yaitu, 85% yang terdapat pada variasi *Filler* 25:75 (25% abu bata : 75% semen *portland*).
 - e. *VIM* memenuhi spesifikasi yang diisyaratkan dan nilai tertinggi yaitu, 4% yang terdapat pada variasi *Filler* 0:100 (0% abu bata : 100% semen *portland*) Sedangkan nilai terendah yaitu, 3,95% yang terdapat pada variasi 100:0 (100% abu bata : 0% semen *portland*).
 - f. *MQ* memenuhi spesifikasi yang diisyaratkan dan nilai tertinggi yaitu, 375 kg/mm yang terdapat pada variasi *Filler* 25:75 (25% abu bata : 75% semen *portland*) dan 75:25 (75% abu bata : 25% semen *portland*)
2. Untuk nilai karakteristik Marshal, komposisi paling baik terdapat pada variasi 100:0 (100% abu bata : 0% semen *portland*) dengan nilai Stabilitas 1280 kg dan Flow 3,9 mm, dengan kadar aspal optimum 5,90% dan nilai *VMA* 16,00%, *VFA* 75,00%, *VIM* 3,95% dan *MQ* 345 Kg/mm.

E.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan dari penelitian ini, diharapkan adanya penelitian lebih lanjut terkait penggunaan abu bata sebagai filler. disarankan untuk melakukan penelitian dengan memperhatikan hal-hal sebagai berikut :

1. Diharapkan adanya pengujian secara kimiawi yang terkandung didalam serbuk abu bata yang dapat digunakan pelengkap analisis penelitian.

2. Diharapkan adanya penelitian lain terkait variasi komposisi filler yang berbeda antara kombinasi abu bata dengan semen portland maupun kombinasi abu bata dengan material lainnya yang dapat dijadikan sebagai *filler*.

DAFTAR PUSTAKA

- Anas, T. (2009). Karakteristik Campuran Beton Aspal (AC-WC) Dengan Menggunakan Variasi Kadar Filler Abu terbang Batu Bara. Jurnal SMARTek Volume 7 No. 4. Jurusan Teknik Sipil. Universitas Tadulako. Palu.
- Bina Marga. (1990). SK SNI M 58-1990-03, Metode Pengujian Campuran Aspal Dengan Alat Marshall. Direktorat Jendral Bina Marga.
- Bina Marga. (1991). SNI-06-2440. Metode Pengujian Kehilangan Berat Minyak dan Aspal dengan Cara A. Jakarta: Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.
- Bina Marga. (1991). SNI-06-2456. Metode Pengujian Penetrasi Baha-Bahan Bitumen. Jakarta: Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.
- Bina Marga. (2000). SNI-06-6441. Metode Pengujian Viskositas Bahan Aspal. Jakarta: Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.
- Bina Marga. (2003). RSNI-M-01. Metode Pengujian Campuran Beraspal Panas dengan Alat Marshall. Jakarta: Pustran Balitbang Pekerjaan Umum. Jendral Bina Marga.
- Bina Marga. 2003. RSNI-M-01-2003. Metode Pengujian Campuran Beraspal Panas dengan Alat Marshall. Jakarta : Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.
- Bina Marga. 2010. Seksi 6.3 Spesifikasi Campuran Beraspal Panas pada Spesifikasi Umum Jalan dan Jembatan Edisi 2010. Jakarta : Direktorat Jendral Bina Marga.
- Bina Marga. (2011). SNI-03-2439. Metode Pengujian Kelekatan Agregat Terhadap Aspal. Jakarta: Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.

- Bina Marga. (2011). SNI-2433. Metode Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar dengan Cleveland Open Cup. Jakarta: Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.
- Bina Marga. (2011). SNI-2441. Metode Pengujian Berat Jenis Aspal Padat. Jakarta: Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.
- Bina Marga. (2011). SNI-2434. Metode Pengujian Titik Lembek Aspal dan Ter. Jakarta: Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.
- Bina Marga. (SNI-06-2432. Metode Pengujian Daktilitas Bahan-Bahan Aspal). 1991. Jakarta: Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.
- Dirjen Bina Marga. (2010). Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan Revisi 3. Kementerian Pekerjaan Umum, Indonesia.
- Fasdarsyah, dkk (2014). Pengaruh Penambahan Filler Granit dan Keramik Pada Campuran Laston AC-WC Terhadap Karakteristik Uji Marshall. Teras Jurnal Volume 4 No. 1. Jurusan Teknik Sipil. Universitas Malikussaleh. Aceh.
- Kementerian Pekerjaan Umum, 2010. Spesifikasi Umum 2010 (Revisi 3). Jakarta : Puslitbang Direktorat Jenderal Bina Marga.
- L. Hendarsin, Shirley. 2000. Perencanaan Teknik Jalan Raya. Jurusan Teknik Sipil. Bandung : Politeknik Negeri Bandung
- Rahaditya, D.R. (2012). Studi Penggunaan Serbuk Bata Merah sebagai Filler pada Perkerasan Hot Rolled Sheet-Wearing Course (HRS-WC). Tugas Akhir. Universitas Jember. Jawa Timur.
- Standard Nasional Indonesia. 2015. SNI 2049-2015. Semen Portland. Jakarta : Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.
- Shalahuddin, M. (2009). Alat Berat dan Pemindahan Tanah Mekanis. Buku Ajar. Pusat Pengembangan Pendidikan. Jurusan Teknik Sipil. Pekanbaru : Universitas Riau
- Sukirman, S. (1999). Dasar-dasar Perencanaan Geometrik jalan. Bandung: Nova.
- Sukirman, S. (1999). Perkerasan Lentur Jalan Raya. Bandung: Nova.
- Sukirman, S. (2003). Beton Aspal Campuran Panas. Jakarta: Granit.
- Sukirman, S. (2007). Beton Aspal Campuran Panas. Jakarta: Yayasan Obor Indonesia.
- Tm. Suprpto. (2004). Bahan dan Struktur Jalan Raya. Bandung: Jurusan Teknik Sipil. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada