

KARAKTERISTIK UJI *MARSHALL* CAMPURAN LASTON ASPHALT TREATED BASE (ATB) DENGAN LIMBAH BETON SEBAGAI SUBSTITUSI BAHAN AGREGAT KASAR

Jannika Suhelmi¹⁾, 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 : jannika.suhelmi6787@student.unri.ac.id

ABSTRACT

Infrastructure boom requires a large amount of aggregate which is non renewable. On the other hand infrastructure construction create some amount of concrete waste which might be recycled. This study investigated marshall characteristic of Asphalt Treated Base using concrete waste as coarse aggregate substitution. Concrete waste was mixed with fresh aggregate at ratio of 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 and 0:100 asphalt content varied are 5%, 5.5%, 6%, 6.5% and 7%. The optimum aggregate contents for each variation i.e. 6.05%, 6%, 6.5%, 6.5% and 6% respectively. The results show that all variation fulfilled the specification the 75:25 variation was recommended as mixture ratio with high stability value 2.320 kg and also asphalth content was affordable with 6% of optimum asphalt content.

Keywords: *Waste concrete, aggregate, asphalt treated base (ATB)*

A. PENDAHULUAN

Pembongkaran bangunan dan infrastruktur yang terdiri dari material beton menghasilkan limbah beton. Limbah beton yang dibiarkan tanpa ada penanganan akan menimbulkan permasalahan tersendiri bagi lingkungan.

Limbah beton digunakan sebagai pengganti agregat dalam perkerasan jalan. Aspal porus memiliki nilai stabilitas rendah karena menggunakan campuran dengan sedikit agregat kasar. Limbah beton sebagai pengganti agregat kasar pada campuran aspal porus juga memberikan pengaruh yang signifikan pada nilai stabilitas (Prawiro dan Trigan, 2014)

Memanfaatkan material limbah beton yang sudah tidak digunakan dapat diolah kembali dengan nilai struktur yang lebih tinggi. Teknologi Cement Treated Base memungkinkan untuk menggunakan dan memproses bahan limbah yang tidak memiliki nilai guna menjadi bahan material pondasi jalan (Rahman dan Tambunan, 2014)

Pada penelitian ini dilihat pengaruh penggantian agregat kasar dengan limbah beton pada campuran *Asphalt Treated Base*. Gradasi gabungan campuran dan nilai-nilai *Marshall properties* mengacu pada spesifikasi Bina Marga 2010 Divisi 6 (Revisi 3).

Tujuan penelitian ini adalah menganalisis hasil uji *Marshall* pada campuran Laston *Asphalt Treated Base* dengan menggunakan limbah beton sebagai agregat kasar. Masalah pada penelitian ini dibatasi pada sifat dan karakteristik campuran Laston *Asphalt Treated Base* dengan melakukan pengujian di Laboratorium dan tidak melakukan pengujian skala lapangan. Ruang lingkup dan batasan masalah pada penelitian ini adalah agregat kasar didapat dari limbah beton sisa pengujian laboratorium bahan yang K-250.

B. TINJAUAN PUSTAKA

B.1 Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan adalah campuran antara agregat (batuan dengan gradasi tertentu) dan bahan pengikat, yang dihamparkan dan dipadatkan di atas tanah dasar untuk melayani beban lalu-lintas (Sukirman, 2003).

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 kelapisan 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

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

Keterangan :

X : Nilai rancangan proporsi 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.

$$P_b = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%FF) + C \quad (2)$$

Keterangan :

P_b : 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.

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{sb1}} + \frac{P_2}{G_{sb2}} + \dots + \frac{P_n}{G_{sbn}}} \quad (4)$$

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

$$G_{sa} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{sa1}} + \frac{P_2}{G_{sa2}} + \dots + \frac{P_n}{G_{san}}} \quad (5)$$

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.

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

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.

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}} \quad (7)$$

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.

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

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.

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sh}} \quad (9)$$

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.

$$VIM = 100 - \frac{G_{mb} \times 100}{G_{mm}} \quad (10)$$

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 Treated Base* 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 (semen).

Agregat berasal dari Kabupaten Kampar yang diperoleh dari *quarry* PT. Virajaya Riau Putra, limbah beton diperoleh dari limbah sampel pengujian Laboratorium Bahan Universitas Riau yang diproses menjadi material lolos saringan 1½” 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 ATB 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 Treated Base* 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 seperti Tabel 1.

Setelah ditentukan fraksi yang digunakan untuk perhitungan matrik, tentukan batas atas dan batas bawah dengan cara *trial and error*, seperti Tabel 2.

Tabel 1 Gradasi Masing-masing Fraksi

Nomor Saringan		Gradasi Masing-masing Fraksi (Persentasi Lolos Saringan)				Spesifikasi Lolos Saringan	
		Fraksi 1	Fraksi 2	Fraksi 3	Fraksi 4	Batas Bawah	Batas Atas
37,5	1 1/5"	100,00	100,00	100,00	100,00	100	100
25,40	1"	90,65	100,00	100,00	100,00	90	100
19,00	3/4"	67,13	100,00	100,00	100,00	76	90
12,50	1/2"	27,13	100,00	100,00	100,00	60	78
9,50	3/8"	13,96	100,00	100,00	100,00	52	71
4,75	No. 4	2,41	42,78	100,00	100,00	35	54
2,36	No. 8	1,87	4,71	55,07	97,65	23	41
1,18	No. 16	1,61	4,29	45,64	89,24	13	30
0,60	No. 30	1,55	3,88	37,94	80,37	10	22
0,30	No. 50	1,48	3,47	31,51	53,54	6	15
0,15	No. 100	1,16	2,99	28,27	20,15	4	10
0,075	No. 200	0,68	2,38	15,65	13,39	3	7

Tabel 2 Proporsi Agregat menggunakan Metode Analitis Matrik

Nomor Saringan		Gradasi Masing-masing Fraksi (Persentasi Lolos Saringan)				Spesifikasi Lolos Saringan		
		Fraksi 1	Fraksi 2	Fraksi 3	Fraksi 4	Batas Bawah	<i>Trial and Error</i>	Batas Atas
25,40	1"	90,65	100,00	100,00	100,00	90	99	100
12,50	1/2"	27,13	100,00	100,00	100,00	60	75	78
4,75	No. 4	2,41	42,78	100,00	100,00	35	45	54
1,18	No. 16	1,61	4,29	45,64	89,24	13	23	30

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],

$$[A] = \begin{bmatrix} 90,65 & 100,00 & 100,00 & 100,00 \\ 27,13 & 100,00 & 100,00 & 100,00 \\ 2,41 & 42,78 & 100,00 & 100,00 \\ 1,61 & 4,27 & 45,64 & 89,24 \end{bmatrix}$$

$$\text{dan } [B] = \begin{bmatrix} 99,00 \\ 75,00 \\ 45,00 \\ 23,00 \end{bmatrix}$$

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

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

$$[A]^{-1} = \frac{1}{-4.667.000} \cdot \begin{bmatrix} 90,65 & 100,00 & 100,00 & 100,00 \\ 27,13 & 100,00 & 100,00 & 100,00 \\ 2,41 & 42,78 & 100,00 & 100,00 \\ 1,61 & 4,27 & 45,64 & 89,24 \end{bmatrix}$$

$$[A]^{-1} = \begin{bmatrix} 0,01586 & -0,0159 & 0 & 0 \\ -0,00687 & 0,0245 & -0,0177 & 0 \\ 0,00614 & -0,0225 & 0,04099 & -0,0271 \\ -0,00366 & 0,0124 & -0,0233 & 0,02711 \end{bmatrix}$$

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.

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

$$= \begin{bmatrix} 0,01586 & -0,0159 & 0 & 0 \\ -0,00687 & 0,0245 & -0,0177 & 0 \\ 0,00614 & -0,0225 & 0,04099 & -0,0271 \\ -0,00366 & 0,0124 & -0,0233 & 0,02711 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 99,00 \\ 75,00 \\ 45,00 \\ 23,00 \end{bmatrix}$$

$$X = \begin{bmatrix} 0,37 \\ 0,35 \\ 0,14 \\ 0,13 \end{bmatrix} \quad X > 0$$

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 :

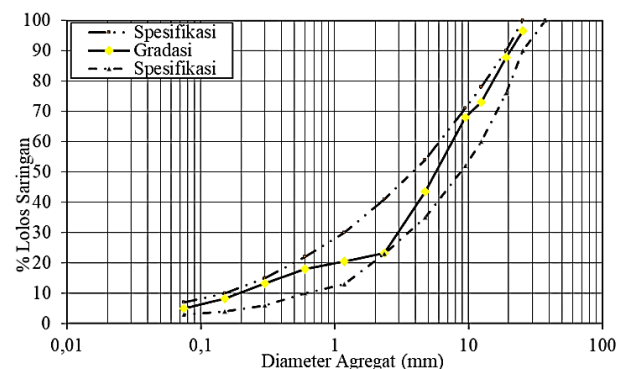
- $X_1 = 0.37 \longrightarrow$ Fraksi 1
- $X_2 = 0.33 \longrightarrow$ Fraksi 2
- $X_3 = 0.14 \longrightarrow$ Fraksi 3
- $X_4 = 0.13 \longrightarrow$ Fraksi 4

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.

- Fraksi 1= 37% $\longrightarrow$ Fraksi Agregat Kasar
- Fraksi 2= 33% $\longrightarrow$ Fraksi Agregat Medium
- Fraksi 3= 14% $\longrightarrow$ Fraksi Agregat Halus
- Fraksi 4= 13% $\longrightarrow$ Fraksi Pasir

Tabel 3 Proporsi Agregat Gabungan ATB

Nomor Saringan	mm	inch	Perkiraan Proporsi Masing-masing Fraksi				Gradasi Gabungan	Spesi Lotos S Bawah
			Fraksi 1 37%	Fraksi 2 36%	Fraksi 3 14%	Fraksi 4 13%		
37,5	1 1/2"						100	100
25,40	1"		33,65	35,57	13,86	13,44	96,53	90
19,00	3/4"		24,92	35,57	13,86	13,44	87,80	76
12,50	1/2"		10,07	35,57	13,86	13,44	72,95	60
9,50	3/8"		5,18	35,57	13,86	13,44	68,06	52
4,75	No. 4		0,89	15,22	13,86	13,44	43,42	35
2,36	No. 8		0,69	1,67	7,63	13,12	23,12	23
1,18	No. 16		0,60	1,53	6,33	11,99	20,44	13
0,60	No. 30		0,58	1,38	5,26	10,80	18,02	10
0,30	No. 50		0,55	1,23	4,37	7,20	13,35	6
0,15	No. 100		0,43	1,06	3,92	2,71	8,12	4
0,075	No. 200		0,25	0,85	2,17	1,80	5,07	3



Gambar 1 Grafik Gradasi Agregat Gabungan ATB

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

$$\begin{aligned} Pb &= 0,035(\%CA) + 0,045(\%FA) + \\ &\quad 0,18(\%FF) + C \\ &= 0,035 (100 - 23,12)) + 0,045 (23,12 - \\ &\quad 5,07)) + 0,18 (5,07) + 1 \\ &= 5,41\% \approx 6\% \end{aligned}$$

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 Agregat Kasar Normal dan Limbah beton					Jumlah Sampel (unit)
	0:100	25:75	50:50	75:25	100:0	
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

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%
mm	inchi		gr	gr	gr	gr	gr
37,5	1 1/2"	3,47					
25,4	1"	8,73	39,57	39,37	39,16	38,95	38,74
19	3/4"	14,85	99,55	99,02	98,50	97,98	97,45
12,5	1/2"	4,89	169,30	168,41	167,52	166,62	165,73
9,5	3/8"	24,64	55,72	55,43	55,13	54,84	54,55
4,75	No. 4	19,98	280,92	279,44	277,96	276,48	275,00
2,36	No. 8	1,55	227,72	226,52	225,33	224,13	222,93
1,18	No. 16	1,23	17,69	17,59	17,50	17,41	17,31
0,6	No. 30	1,06	14,08	14,00	13,93	13,86	13,78
0,3	No. 50	0,74	12,12	12,06	12,00	11,93	11,87
0,15	No. 100	2,14	8,42	8,38	8,34	8,29	8,25
0,075	No. 200	3,47	24,45	24,32	24,19	24,06	23,93
Pan/Filler		3,27	66,67	66,32	65,97	65,62	65,27
Pasir		13,44	125,40	124,74	124,08	123,42	122,76
Aspal			60	66	72	78	84

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

Kadar Aspal %	Variasi Agregat %	Kode Campuran	Agregat		Total
			Limbah Beton gr	Agregat Normal gr	
5	0 : 100	A	0,00	645,06	645,06
	25 : 75	B	161,26	161,26	
	50 : 50	C	322,53	322,53	
	75 : 25	D	483,79	161,26	
	100 : 0	E	645,06	0,00	
5,5	0 : 100	A	0,00	641,66	641,66
	25 : 75	B	160,42	481,25	
	50 : 50	C	320,83	320,83	
	75 : 25	D	481,25	160,42	
	100 : 0	E	641,66	0,00	
6	0 : 100	A	0,00	638,27	638,27
	25 : 75	B	159,57	478,70	
	50 : 50	C	319,13	319,13	
	75 : 25	D	478,70	160,42	
	100 : 0	E	638,27	0,00	
6,5	0 : 100	A	0,00	634,87	634,87
	25 : 75	B	158,72	476,15	
	50 : 50	C	317,44	317,44	
	75 : 25	D	476,15	158,72	
	100 : 0	E	634,87	0,00	
7	0 : 100	A	0,00	631,48	631,48
	25 : 75	B	157,87	473,61	
	50 : 50	C	315,74	315,74	
	75 : 25	D	473,61	157,87	
	100 : 0	E	631,48	0,00	
Jumlah (gr)			7978,32	7978,32	

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 Aspal

Aspal yang digunakan adalah aspal dengan penetrasi 60/70 merek Cosmic. Hasil pengujian aspal dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7 Hasil Pengujian Aspal Penetrasi 60/70

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

D.1.2 Hasil Pengujian Agregat

Agregat yang diuji dalam penelitian ini adalah agregat kasar lolos saringan 1 1/2" sampai tertahan saringan no. 4, 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 8 dan Tabel 9.

Tabel 8 Hasil Pengujian Agregat Kasar

Pengujian	Standar	Hasil Pengujian	Spesifikasi		Keterangan Diji	
			Min	Maks	Ya	Tida
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan (%)	natrium sulfat SNI 3407:2008	-		12		√
	magnesium sulfat	-		18		√
Abrasi dengan mesin	Campuran AC 100 putaran	-		6		√
Los Angeles (%)	Modifikasi Semua jenis AC bergradasi lainnya 500 putaran	-		30		√
Kelekatatan agregat terhadap aspal (%)	SNI 2417:2008	-		8		√
	SNI 2439:2011	39,56		40		√
Butir pecah pada agregat kasar (%)	7619:2012	97,18	95			√
Partikel pipih dan lonjong (%)	ASTM D4791	92,97		95/90		√
Berat Jenis Bulk		7,33		10		√
Berat Jenis SSD	SNI 03-1969-1990	2,55				√
Berat Jenis Apparent		2,59				√
Penyerapan		1,37		3%		

Secara umum dapat dilihat bahwa hasil pengujian agregat kasar dan halus telah memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan dan dapat digunakan sebagai bahan campuran beraspal Laston.

Tabel 9 Hasil Pengujian Agregat Halus

Pengujian	Standar	Hasil Pengujian	Spesifikasi		Keterangan Diji	
			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.1.3 Hasil Filler

Filler yang digunakan pada penelitian ini adalah Semen *Portland*. Berat jenis semen *Portland* dengan nilai sebesar 3,15.

D.2 Hasil Pengujian Karakteristik ATB

Karakteristik campuran aspal beton dapat diketahui dengan menganalisa nilai berat isi, VIM, VMA, VFA, stabilitas, *flow* dan *MQ*. Dari data di atas untuk menentukan karakteristik *Marshall* dapat dijelaskan dengan penggunaan rumus sebagai berikut.

1. Berat Jenis *Bulk* total agregat (Persamaan 4)

$$G_{sb} = \frac{100}{\frac{37}{2,505} + \frac{36}{2,632} + \frac{14}{2,543} + \frac{13}{2,611}}$$

$$= 2,568 \text{ gr/cc}$$

2. Berat Jenis *Apparent* total agregat (Persamaan 5)

$$G_{sa} = \frac{100}{\frac{37}{2,606} + \frac{36}{2,727} + \frac{14}{2,573} + \frac{13}{2,638}}$$

$$= 2,647 \text{ gr/cc}$$

3. Berat Jenis Efektif Total Agregat (Persamaan 6)

$$G_{se} = \left[\frac{2,568 + 2,647}{2} \right]$$

$$= 2,607 \text{ gr/cc}$$

4. Berat Jenis Teoritis total agregat (Persamaan 7)

$$G_{mm} = \left[\frac{100}{\frac{94,5}{2,607} + \frac{5,5}{1,032}} \right]$$

$$= 2,406 \text{ gr/cc}$$

5. Berat Jenis Bulk campuran padat (Persamaan II.8)

$$G_{mb} = \left[\frac{1198,9}{1217,9 - 686,5} \right]$$

$$= 2,256 \text{ gr/cc}$$

6. Nilai VMA rongga dalam mineral agregat (Persamaan 9)

$$VMA = 100 - \frac{2,256 \times 94,5}{2,567}$$

$$= 16,985 \%$$

7. Nilai VIM rongga dalam campuran (Persamaan 10)

$$VIM = 100 - \frac{2,406 \times 2,256}{2,406}$$

$$= 6,217 \%$$

8. Rongga terisi aspal VFA Persamaan 11)

$$VFA = 100 \times \frac{16,985 - 6,217}{16,985}$$

$$= 63,3 \%$$

9. Stabilitas (S) (Persamaan 12)

$$\text{Stabilitas} = 171 \times 2315,9 \times 0,9 = 2223,2 \text{ Kg}$$

10. Kelelahan (flow)

Nilai kelelahan diperoleh dari pembacaan dial f = 3,09 mm

11. Marshall Quotient (Persamaan 13)

$$MQ = \frac{2223,2}{3,09}$$

$$= 719,49 \text{ Kg/mm}$$

Perhitungan di atas merupakan contoh perhitungan untuk sampel 1 pada campuran 50% : 50% Agregat Normal dan Limbah Beton. Data tersebut dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10 Data Perhitungan Karakteristik Campuran

Uraian	Berat Jenis		Proporsi Dalam Campuran (%)
	Kering (Bulk) gr/ cc	Semu (Apparent) gr/ cc	
Agregat Kasar(19 mm s.d 2,36 mm)	2,50	2,60	37
Agregat Sedang(0,6 mm s.d 0,075mm)	2,63	2,73	33
Agregat Halus(< 0,075 mm)	2,54	2,47	14
Pasir(< 0,075 mm)	2,61	2,63	13

Catatan: Data aspal dan pengujian volumetrik adalah untuk campuran Agregat Alami 50% : 50% Limbah Beton (Kombinasi C)

D.3 Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) Campuran ATB

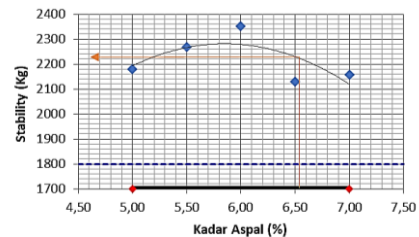
Metode yang digunakan dalam penentuan KAO adalah menggunakan SNI 06-2489-1991 dengan menganalisis karakteristik Marshall.

Tabel 11 Hasil Pengujian Karakteristik Marshall untuk Mencari KAO

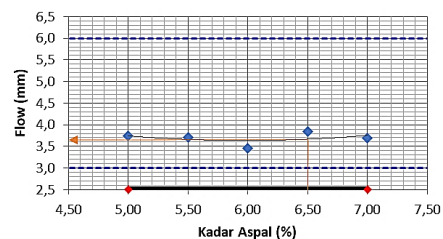
Sifat - Sifat Material Yang Diuji (Nilai Rata - Rata)	Kadar Aspal (%)	Hasil Pengujian Campuran Aspal Dengan Variasi Agregat				
		100% : 0%	75% : 25%	50% : 50%	25% : 75%	0% : 100%
% Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA) , %	5,0	15,21	14,35	18,14	17,51	13,82
	5,5	13,37	15,08	16,46	16,88	14,51
	6,0	16,23	16,62	16,15	17,07	15,41
	6,5	16,61	17,82	18,69	17,38	16,22
	7,0	18,01	18,79	17,44	17,96	17,38
	5,0	5,24	4,37	8,68	8,07	4,05
% Rongga Dalam Campuran (VIM) , %	5,5	1,98	4,00	5,65	6,22	3,64
	6,0	4,03	4,57	4,13	5,28	3,48
	6,5	3,28	4,77	5,88	4,46	3,23
	7,0	3,72	4,73	3,25	3,97	3,39
	5,0	65,75	69,60	52,16	54,51	70,88
	5,5	86,63	73,50	65,88	64,00	74,92
% Rongga Terisi Aspal (VFA) , %	6,0	75,40	72,50	74,46	69,34	77,42
	6,5	81,51	73,20	68,98	74,33	80,10
	7,0	79,99	74,82	81,36	77,90	80,54
	5,0	2158,21	2577,68	2178,93	1994,79	2199,74
Stabilitas Dengan Koreksi Benda Uji, Kg	5,5	2432,23	2379,05	2269,08	2065,13	2178,17
	6,0	2083,62	2316,03	2352,51	1909,02	2077,50
	6,5	2234,28	2314,23	2128,15	2015,20	1939,36
	7,0	2236,40	2249,22	2158,21	2184,22	1932,86
	5,0	3,92	3,91	3,74	3,70	4,83
Kelelahan (Flow), mm	5,5	4,46	3,64	3,71	3,92	5,30
	6,0	4,52	4,91	3,46	3,62	5,90
	6,5	5,10	4,57	3,84	3,70	4,40
	7,0	5,39	3,28	3,69	3,63	5,16
	5,0	553,56	660,12	596,47	548,72	454,18
Marshall Quotient (Kg/mm)	5,5	549,06	664,17	619,40	532,46	414,81
	6,0	464,06	479,74	682,64	540,27	344,77
	6,5	441,13	441,13	579,31	545,48	441,08
	7,0	415,71	415,71	596,83	601,26	375,69

D.3.1 Rekapitulasi Perubahan Nilai Karakteristik Marshall

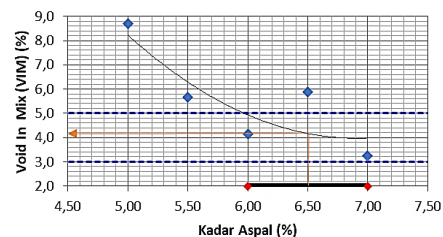
Nilai karakteristik Marshall pada tiap variasi agregat mengalami kenaikan dan penurunan yang dipengaruhi oleh penggantian agregat.



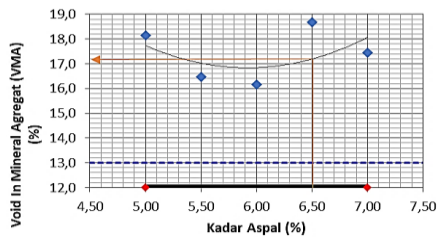
- a) Hasil Uji Karakteristik Marshall pada Nilai Stabilitas Terhadap Kadar Aspal



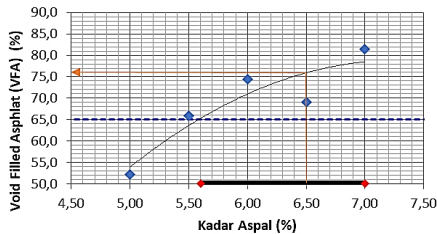
- b) Hasil Uji Karakteristik Marshall pada Nilai Flow Terhadap KAO



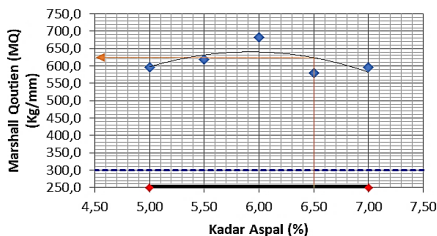
- c) Hasil Uji Karakteristik Marshall pada Nilai VIM Terhadap Kadar Aspal



d) Hasil Uji Karakteristik *Marshall* pada Nilai VMA Terhadap Kadar Aspal



e) Hasil uji karakteristik marshall pada nilai VFA terhadap kadar Aspal



f) Hasil uji karakteristik marshall pada nilai *Marshall Qoutien* terhadap kadar Aspal

Gambar 2 Grafik Hasil Uji Karakteristik *Marshall* Variasi 50:50

Penentuan Kadar Aspal Optimum Variasi 50:50 dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12 Penentuan Kadar Aspal Optimum Variasi 50:50

No	Kriteria	Spesifikasi	Kadar Aspal
1	Stability (Kg)	1800	
2	Flow (mm)	3 - 6	
3	VIM (%)	3 - 5	
4	VFA (%)	Min 65	
5	VMA (%)	Min 13	
6	MQ (Kg/mm)	Min 300	
KAO (%)			$\frac{(6 + 7)}{2}$ 6,50%

Dari grafik dan tabel di atas diperoleh kadar aspal optimum komposisi agregat 100% agregat normal dan 0% limbah beton adalah 6,05%. Komposisi agregat 75% kombinasi agregat normal dan 25% limbah beton diperoleh KAO 6,00%. Untuk komposisi agregat 50% kombinasi agregat normal dan 50% limbah beton diperoleh KAO 6,50%.

Komposisi agregat 25% kombinasi agregat normal dan 75% limbah beton diperoleh KAO 6,50%. Untuk komposisi agregat 100% kombinasi agregat normal dan 0% limbah beton diperoleh KAO 6%.

D.4 Karakteristik *Marshall* dengan Variasi Agregat pada Kondisi Kadar Aspal Optimum (KAO)

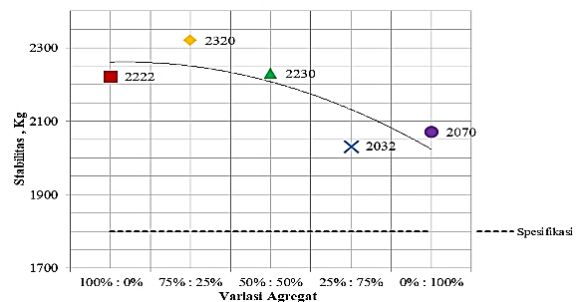
Dari hasil penelitian variasi agregat pada kondisi aspal optimum didapat nilai stabilitas, *flow*, VMA, VIM, VFA dan MQ memenuhi persyaratan. Untuk hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 13 Perbandingan Nilai Karakteristik *Marshall* pada Kadar Aspal Optimum

Sifat-sifat Material yang Diuji	Variasi Agregat				
	100:0	75:25	50:50	25:75	0:100
Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA),%	15,60	16,45	17,20	17,30	15,35
Rongga Dalam Campuran (VIM),%	3,74	3,89	4,20	4,40	3,40
Rongga Terisi Aspal (VFA),%	82,00	73,10	76,00	74,50	77,80
Stabilitas (Dengan Kalibrasi Alat),Kg	2222	2320	2230	2032	2070
Kelelahan (<i>Flow</i>),mm	4,70	3,98	3,68	3,70	5,31
<i>Marshall Qoutien</i> (Kg/mm)	479	457	625	550	390
KAO	6,05	6,00	6,50	6,50	6,00

D.4.1 Stabilitas

Nilai stabilitas menunjukkan kemampuan suatu campuran untuk dapat menahan suatu deformasi yang diakibatkan oleh suatu beban. Untuk hasil pengujian stabilitas dapat dilihat pada Gambar 3.

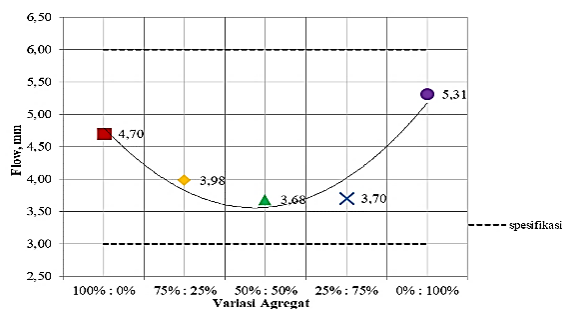


Gambar 3 Grafik Perbandingan *Stabilitas* pada tiap Variasi Agregat dengan Kadar Aspal Optimum

Dari Gambar 3 dapat nilai stabilitas pada masing-masing komposisi penggantian agregat berada di atas spesifikasi yang disyaratkan yaitu 1800 Kg. Stabilitas paling rendah dihasilkan oleh komposisi agregat 25:75 yaitu sebesar 2032 Kg. stabilitas tertinggi yaitu benda uji komposisi agregat 75:25 yaitu 2320 kg.

D.4.2 Kelelehan (*Flow*)

Nilai *flow* menunjukkan tingkat kekakuan suatu perkerasan, nilai yang kecil cenderung menghasilkan perkerasan yang kaku dan getas.

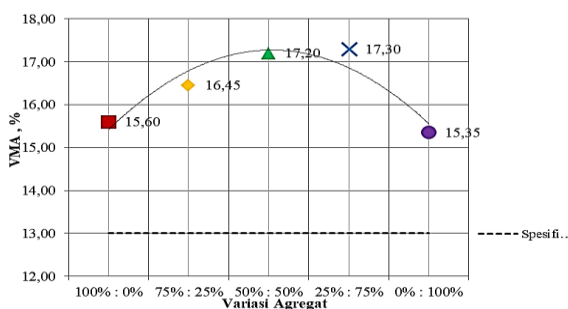


Gambar 4 Grafik Perbandingan *Flow* pada tiap Variasi Agregat dengan Kadar Aspal Optimum

Pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa nilai *flow* pada komposisi agregat 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 dan 0:100 memenuhi spesifikasi yaitu antara 3 mm sampai 6 mm. Nilai *flow* paling tinggi terdapat pada komposisi agregat 0:100 sebesar 5,31 mm dan nilai *flow* paling rendah terdapat pada komposisi agregat 50:50 yaitu sebesar 3,68 mm.

D.4.3 Voids of Material Aggregate (*VMA*)

Nilai *VMA* menyatakan rongga di antara partikel agregat dalam suatu campuran yang sudah dipadatkan. Hasil pengujian *VMA* dapat dilihat pada Gambar 5.



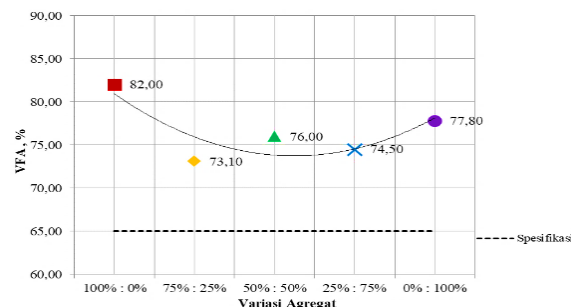
Gambar 5 Grafik Hubungan *VMA* dengan Variasi Agregat dengan Kadar Aspal Optimum

Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa nilai *VMA* untuk semua komposisi agregat berada di atas nilai yang disyaratkan pada Spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3 yaitu 13%. Nilai *VMA* paling rendah terdapat pada komposisi

agregat 0:100 sebesar 15,35%. Pada komposisi agregat 25:75 didapatkan nilai sebesar 17,30% yang merupakan nilai *VMA* tertinggi.

D.4.4 Volume of Voids Filled with Asphalt (*VFA*)

VFA merupakan persentase rongga yang terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan. Hasil pengujian *VFA* dapat dilihat pada Gambar 6.

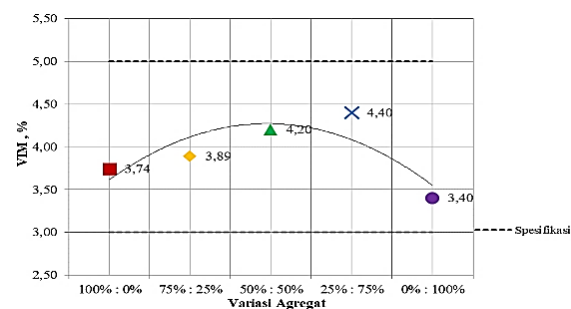


Gambar 6 Grafik Hubungan *VFA* dengan Variasi Agregat dengan Kadar Aspal Optimum

Dari Gambar 6 dapat dilihat bahwa nilai *VFA* pada masing-masing komposisi penggantian agregat berada di atas spesifikasi yang disyaratkan yaitu 65%. Dari grafik dapat dilihat bahwa nilai *VFA* paling rendah terdapat pada komposisi agregat 75:25 sebesar 73,10%, sedangkan nilai *VFA* paling tinggi terdapat pada komposisi agregat 0:100 yaitu sebesar 82,00%.

D.4.5 Voids in Mixture (*VIM*)

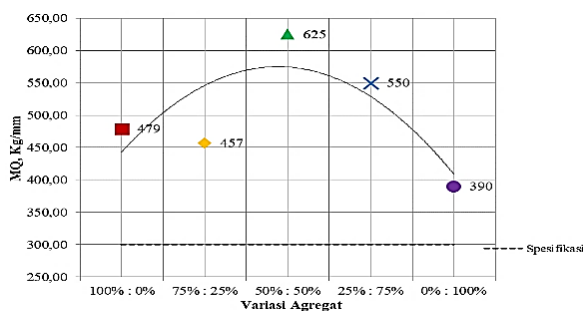
VIM adalah rongga yang terdapat dalam total campuran beraspal. Hasil pengujian *VIM* dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7 Grafik Hubungan *VIM* dengan Variasi Agregat dengan Kadar Aspal Optimum

D.4.6 Marshall Quotient (MQ)

Besarnya nilai *MQ* tergantung dari besarnya nilai stabilitas yang dipengaruhi oleh gesekan butiran yang saling mengunci antar butiran agregat dan kohesi campuran, serta *flow* yang dipengaruhi oleh sifat-sifat aspal, gradasi bahan penyusun dan jumlah tumbukan. Pada Gambar 8 dapat dilihat bahwa nilai *MQ* untuk setiap variasi agregat lebih besar dari spesifikasi yang disyaratkan yaitu 300 kg/mm. Nilai *MQ* tertinggi terdapat pada komposisi agregat 50:50 yaitu 625 kg/mm..



Gambar 8 Grafik Perbandingan Marshall Quotient pada tiap Variasi Agregat dengan Kadar Aspal Optimum

E. KESIMPULAN DAN SARAN

E.1 Kesimpulan

Dari penelitian dan pembahasan pada kondisi Kadar Aspal Optimum variasi agregat 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 dan 0:100 memenuhi karakteristik *Marshall*. Pada variasi agregat 75:25 yang direkomendasikan dengan nilai Stabilitas yang paling tinggi yaitu 2320 Kg dan pengadaan kadar aspal yang terjangkau dengan Kadar Aspal Optimum 6 %.

E.2 Saran

Untuk penyempurnaan hasil penelitian serta untuk mengembangkan penelitian yang lebih lanjut disarankan untuk melakukan penelitian diharapkan adanya penelitian tentang jumlah variasi agregat dan limbah beton yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

Bangun Prawiro, N. P. (2014). Pengaruh Penggunaan Limbah Beton Sebagai Agregat Kasar pada Campuran Aspal Porus dengan Tambahan Gilsonite. 1-9. Bina Marga. 2010. *Seksi 6.3 Spesifikasi*

Campuran Beraspal Panas pada Spesifikasi Umum Jalan dan Jembatan Edisi 2010. Jakarta : Direktorat Jendral Bina Marga.

Fuad Izzatur Rahman, A. K. (2014). Kajian Pemanfaatan Limbah Beton Sebagai Material Cement Treated Base (CTB).

Kementrian Pekerjaan Umum, 2010. Spesifikasi Umum 2010 (Revisi 3). Jakarta : Puslitbang Direktorat Jenderal Bina Marga.

Standard Nasional Indonesia. 2015. *SNI 2049-2015. Semen Portland*. Jakarta : Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.

Sukirman, S. (2003). *Beton Aspal Campuran Panas*. Jakarta: Granit.