

PEMANFAATAN LIMBAH BETON K 250 SEBAGAI SUBSTITUSI AGREGAT KASAR PADA CAMPURAN LASTON LAPIS ANTARA (AC-BC)

Rizki Fajri Ananda¹⁾, 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 : Rizki.fajri6808@student.unri.ac.id

ABSTRACT

Pavement construction requires aggregate which is non renewable material. Concrete waste such as from cubic test might be recycled. This study investigated marshall characteristic of Asphalt concrete binder course (AC-BC) which used of concrete waste as coarse aggregate substitute. Concrete waste was mixed with fresh aggregate at ratio of 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 and 0:100 Asphalt content variation are 5%, 5.5%, 6%, 6.5% and 7%. The optimum aggregate contents for each variation are 6.08%, 5.83%, 5.87%, 5.10%, 5.55% respectively. The result show that all variation fulfilled the specification The 75:25 variation is recommended as mixture ratio with high stability value of 1445 Kg, Flow 3.40 mm, VMA 15.30%, VFA 77.50%, VIM 3.40%, MQ 440 Kg/mm and also asphalt content is affordable with 5.87% of optimum asphalt content.

Keywords: AC-BC, Concrete Waste, Coarse Agregate

A. PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan zaman pada saat ini, kebutuhan manusia akan bangunan yang lebih baik yang mampu mendukung aktifitas kerja maupun kehidupan sehari-hari semakin meningkat. Akibatnya semakin banyak bangunan lama yang tidak lagi memenuhi standar kelayakan kini dibongkar, sehingga berdampak jumlah limbah beton yang dihasilkan semakin besar.

Pembuatan perkerasan jalan membutuhkan agregat yang banyak, sedangkan agregat adalah sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui. Beton yang tidak layak pakai maka akan dihancurkan dan menghasilkan limbah beton yang banyak pula, melihat hal tersebut maka perlu dimanfaatkan kembali limbah beton untuk digunakan sebagai pengganti agregat kasar.

Andhikata (2013) meneliti Penggunaan limbah beton sebagai agregat kasar berpengaruh pada nilai karakteristik Marshall pada campuran AC – WC, pada nilai stabilitas, VMA, VIM dan Marshall Quotient mengalami kenaikan, sedangkan nilai flow dan VFA mengalami penurunan seiring penambahan kadar limbah beton. Nilai

stabilitas paling tinggi diperoleh pada kadar limbah beton 80%, nilai VMA paling besar diperoleh pada kadar limbah beton 80% nilai VIM paling besar diperoleh pada kadar limbah beton 60%, nilai Marshall Quotient paling besar diperoleh pada kadar limbah beton 80% yaitu, nilai flow paling besar diperoleh pada kadar limbah beton 20% dan nilai VFWA paling besar diperoleh pada campuran normal. Dari hasil analisa diperoleh kadar limbah beton sebesar 2,5% .

Oleh karena itu, pada penelitian kali ini dicoba menggunakan limbah beton K 250 sebagai substitusi agregat kasar dari Kampar. Penelitian ini menganalisis pengaruh penggantian agregat kasar dari Kampar dengan limbah beton K 250 pada campuran Asphalt Concrete - Binder Course (AC-BC).

Bagaimana merencanakan Campuran Laston AC – BC dengan limbah beton K 250 sebagai pengganti agregat kasar terhadap terhadap total campuran. Untuk gradasi gabungan campuran dan nilai-nilai Marshall properties mengacu pada Spesifikasi Bina Marga 2010 Divisi 6 (revisi 3).

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisa hasil uji Marshall pada campuran laston AC – BC dengan menggunakan limbah beton sebagai agregat kasar.

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. Pemakaian aspal sebagai material konstruksi sebenarnya sudah dimulai sejak millennium ke 3 SM. Di akhir abad ke19, seiring dengan maraknya penggunaan sepeda, pada 1824 dibangun jalan aspal namun dengan cara menaruh blok-blok aspal. Jalan bersejarah itu dapat disaksikan di Champ-Elysess, Paris, Perancis.

B.1.1 Lapisan Permukaan (*Surface Course*)

Lapisan permukaan merupakan lapisan yang terletak pada bagian atas dari jalan. Lapisan permukaan ini berfungsi sebagai penahan 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. (Sukirman, 2007).

B.1.2 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.1.3 Lapis Pondasi Atas (*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.1.4 Lapis Tanah Dasar (*Sub Grade*)

Lapis tanah dasar 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.2 Karakteristik Marshall Campuran Beraspal

Rancangan campuran berdasarkan metode *Marshall* ditemukan oleh *Bruce Marshall*, telah distandarisasi oleh ASTM dan AASHTO melalui beberapa modifikasi, yaitu ASTM D 1559-76, dan AASHTO T-245-90.

B.2.1 Bahan Penyusun Campuran Aspal Beton

Penggunaan bahan campuran beton aspal harus mencapai spesifikasi dan persyaratan yang telah ditentukan. Untuk persyaratan bahan-bahan penyusun aspal beton sebelum bisa digunakan dapat dilihat dari uraian berikut.

B.2.2 Aspal

Menurut Sukirman, S. (2007), aspal didefinisikan sebagai material perekat (cementitious) berwarna hitam atau coklat tua, dengan unsur utama bitumen. Aspal dapat diperoleh di alam ataupun merupakan residu dari pengilangan minyak bumi.

B.2.3 Agregat

Agregat merupakan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lain, baik yang berasal dari alam maupun buatan yang berbentuk mineral padat berupa ukuran besar maupun kecil atau fragmen-fragmen. Agregat merupakan komponen utama dari struktur perkerasan perkerasan jalan, yaitu 90%-95% agregat berdasarkan persentase berat, atau 75%-85% agregat berdasarkan persentase volume. Dengan demikian kualitas perkerasan

jalan ditentukan juga dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain (Sukirman, 2007).

B.2.4 Bahan Pengisi (*Filler*)

Bahan pengisi (*filler*) merupakan material dengan ukuran butiran yang sangat kecil yang digunakan untuk mengisi rongga-rongga udara pada campuran yang mungkin dapat terbentuk karena proses pemadatan campuran atau gradasi ukuran agregat yang 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 Kadar Aspal Rencana

Perkiraan kadar aspal rencana berguna untuk menentukan kadar aspal optimum dari suatu campuran beraspal. Perkiraan kadar aspal dapat dihitung dengan Rumus 1.

$$P_b = 0,035(\%CA) + 0,045(\%FA) + 0,18(\%FF) + C \quad (1)$$

dengan :

P_b : Perkiraan nilai kadar aspal optimum terhadap berat campuran (%),

CA : Agregat dari saringan terbesar sampai dengan tertahan saringan no. 8 (%),

FA : Agregat yang lolos saringan no. 30 sampai dengan tertahan saringan no. 200 (%),

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

C : Koefisien untuk Laston (0,5 sampai 1)

B.3.2 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 ini akan menyelimuti permukaan agregat bagian luar yang pada akhirnya akan menentukan kinerja perkerasan beraspal. Kadar aspal efektif dengan Rumus 2.

$$P_{be} = P_b \frac{P_{ba}}{100} P_s \quad (2)$$

dengan :

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.3.3 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 Rumus 3 dan 4.

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{sb1}} + \frac{P_2}{G_{sb2}} + \dots + \frac{P_n}{G_{sbn}}} \quad (3)$$

dengan :

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

$$G_{sa} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{sa1}} + \frac{P_2}{G_{sa2}} + \dots + \frac{P_n}{G_{san}}} \quad (4)$$

dengan :

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.3.4 Berat Jenis Efektif Total Agregat

Berat jenis efektif total agregat dapat dihitung dengan Rumus 5

$$G_{se} = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2} \quad (5)$$

dengan :

G_{se} : Berat jenis efektif agregat total

G_{sa} : Berat jenis semu agregat total

G_{sb} : Berat jenis kering agregat total

B.3.5 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 Rumus 6.

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}} \quad (6)$$

dengan :

G_{mm} : Berat jenis maksimum campuran

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

P_s : Persentase agregat terhadap total campuran (%)

G_s : Berat jenis efektif agregat total

B.3.6 Berat Isi Benda Uji

Berat isi benda uji dapat dihitung dengan Rumus 7:

$$G_{mb} = \frac{A}{B - C} \quad (7)$$

dengan :

G_{mb} : berat isi campuran

A : berat kering benda uji (gram)

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

C : berat benda uji dalam air (gram)

B.3.7 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 Nilai *VMA* dapat dihitung dengan Rumus 8 berikut:

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}} \quad (8)$$

dengan :

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.3.8 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 9.

$$VIM = 100 - \frac{G_{mb} \times 100}{G_{mm}} \quad (9)$$

dengan :

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

G_{mb} : berat isi campuran

G_{mm} : berat jenis maksimum campuran

B.3.9 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 Rumus 10.

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

dengan :

VFA : rongga udara yang terisi aspal (%)

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

VMA : rongga udara pada mineral agregat (%)

B.3.10 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.3.11 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.3.12 Pengujian Marshall

Pengujian *Marshall* merupakan pengujian untuk menentukan karakteristik dari suatu campuran beraspal yang dilihat dari nilai stabilitas, keelehan (*flow*) dan *Marshall Quotient (MQ)*. Kemudian dengan menganalisa hasil pengujian *Marshall* dan volumetrik dapat ditentukan nilai kadar aspal optimum.

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 rumus Rumus 11.

$$S = s \times k \times kb \quad (11)$$

Dengan:

- S : stabilitas benda uji (kg)
- s : pembacaan arloji stabilitas
- k : kalibrasi alat
- kb : 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. Nilai kelelahan diukur bersamaan dengan pengukuran nilai stabilitas *Marshall*.

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 rumus pada Rumus 12.

$$MQ = \frac{MS}{MF} \quad (12)$$

dengan:

MQ : *Marshall Quotient* (kg/mm)

MS : *Marshall Stability* (kg)

MF : *Marshall flow*(mm)

B.4 Kadar Aspal Optimum (KAO)

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

C. METODOLOGI PENELITIAN

C.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Universitas Riau untuk pengujian karakteristik bahan campuran, baik itu pengujian aspal maupun pengujian agregat sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3.

C.2 Bahan dan Peralatan Penelitian

Ketersediaan dan kelengkapan bahan dan peralatan menjadi faktor utama dalam kelancaran penelitian yang berbasis eksperimen agar tidak terjadi gangguan dalam proses pelaksanaan.

C.2.1 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini:

1. Aspal PEN 60/70 merek Cosmic
2. Agregat kasar dan halus berasal dari Kabupaten Kampar
3. Limbah beton sebagai pengganti agregat kasar diperoleh dari Laboratorium Bahan dan Bangunan Universitas Riau
4. *Filler* Semen Portland Type 1.

C.3 Pengujian Material

Sebelum digunakan untuk campuran beraspal, bahan-bahan yang digunakan harus diperiksa terlebih dahulu karakteristiknya apakah telah memenuhi persyaratan yang disebutkan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3.

C.3.1 Pengujian agregat

Pengujian terhadap agregat kasar dan halus berdasarkan pada pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3.

C.3.2 Pengujian Aspal

Pengujian terhadap bitumen berdasarkan pada pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3.

C.3.3 Pengumpulan 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), dan limbah beton

Agregat limbah beton diperoleh dari Laboratorium Bahan & Bangunan Universitas Riau, limbah beton yang digunakan yaitu sampel kubus dan silinder bekas uji kuat tekan dengan mutu K 250 atau mutu lebih baik.

C.4 Proporsi Agregat

Penelitian ini menggunakan cara analitis (Matriks) dalam menentukan proporsi agregatnya yang ditetapkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Presentasi Lolos Saringan

Nomor Saringan		Gradasi Masing-fraksi (Persentasi Lolos Saringan)				Spesifikasi Lolos Saringan	
mm	inch	Fraksi i	Fraksi	Fraksi	Fraksi	Batas Bawah	Batas Atas
		1	2	3	4		
24,50	1	100,0	100,00	100,00	100,00	100	100
19,00	3/4"	97,19	100,00	100,00	100,00	90	100
12,50	1/2"	61,12	100,00	100,00	100,00	75	90
9,50	3/8"	26,38	100,00	100,00	100,00	66	82
4,75	No. 4	4,77	58,69	100,00	100,00	46	64
2,360	No. 8	4,09	13,72	55,07	97,65	30	49
1,18	No. 16	3,68	4,10	45,64	89,24	18	38
0,60	No. 30	3,45	3,68	37,94	80,37	12	28
0,300	No. 50	3,19	3,27	31,51	53,54	7	20
0,15	No. 100	2,65	2,86	28,27	20,15	5	13
0,075	No. 200	1,76	2,38	15,65	13,39	4	8

Berdasarkan Teori matriks, diperoleh nilai proporsi masing – masing fraksi.

Nilai persentase lolos ayakan masing – masing fraksi sesuai syarat ukuran saringan dalam Tabel 2. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 1

- Fraksi 1 = 40% ➔ Fraksi Agregat Kasar
- Fraksi 2 = 23% ➔ Fraksi Medium
- Fraksi 3 = 24% ➔ Fraksi Agregat Halus
- Fraksi 4 = 13% ➔ Fraksi Pasir

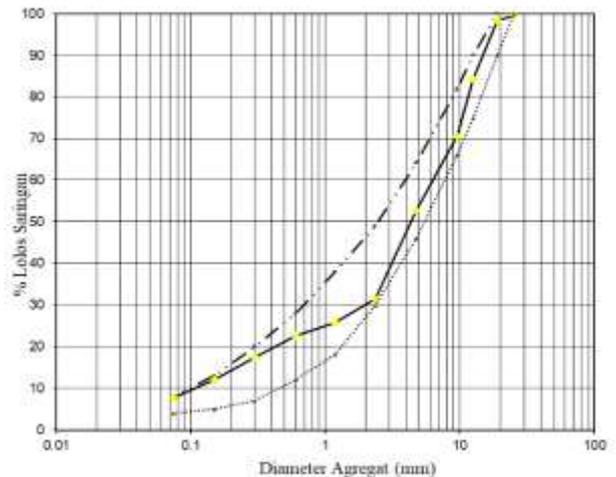
Tabel 2. Proporsi Agregat

Nomor Saringan		Perkiraan Proporsi Masing-masing Fraksi				Jumlah	Spesifikasi Lolos Saringan	
mm	inch	Fraksi 1	Fraksi 2	Fraksi 3	Fraksi 4	100%	Batas Bawah	Batas Atas
		40%	23%	24%	13%		Bawah	Atas
24,50	1	100,00	100,00	100,00	100,00		100	100
19,00	3/4"	97,22	100,00	100,00	100,00		90	100
12,50	1/2"	61,41	100,00	100,00	100,00		75	90
9,50	3/8"	26,93	100,00	100,00	100,00		66	82
4,75	No. 4	5,48	59,10	100,00	100,00		46	64
2,360	No. 8	4,80	14,58	55,75	98,48		30	49
1,18	No. 16	4,40	5,05	46,44	90,69		18	38
0,60	No. 30	4,17	4,64	38,85	81,82		12	28
0,300	No. 50	3,91	4,23	32,53	55,01		7	20
0,15	No. 100	3,37	3,62	29,33	21,64		5	13
0,075	No. 200	2,49	3,35	16,89	14,88		4	8

C.5 Perkiraan Kadar Aspal dan Jumlah Sampel

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%). Kemudian ditentukan nilai variasi kadar aspal untuk menentukan KAO adalah 5%; 5,5%; 6%; 6,5% dan 7% dengan metode uji coba (*Trial and Error*) karena dalam penelitian ini pada persentasi fraksi filler dihitung berdasarkan jumlah dari material yang tertahan pada masing – masing saringan.

Berdasarkan nilai proporsi masing-masing fraksi terdapat nilai persentase lolos saringan yang sesuai spesifikasi, kemudian dibentuk sebuah grafik dapat dilihat pada Gambar 1



Gambar 1 Grafik Gradasi Agregat Gabungan AC-BC

Berdasarkan variasi kadar aspal, agregat limbah beton dan jenis pengujian yang akan dilakukan untuk mendapatkan nilai KAO, maka jumlah benda uji yang dibutuhkan adalah sebanyak 75 buah dengan uraian pada Tabel 3. berikut.

Tabel 3. 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.5.1 Pengumpulan Agregat Dari Limbah Beton

Proses pengumpulan agregat dari limbah beton yaitu dengan cara penghancuran dari limbah beton bekas pengujian kuat tekan yang didapat dari laboratorium Universitas Riau.

C.6 Metode Marshall

C.6.1 Persiapan Agregat dan Filler

Sebelum digunakan agregat harus dikeringkan pada suhu 105-110°C minimum selama 4 jam hingga beratnya tetap. Kemudian agregat dipisahkan berdasarkan saringan yang diinginkan dengan proporsi seperti pada Tabel 4.

Untuk satu campuran benda uji *Marshall* diperlukan berat campuran sebanyak ± 1200 gram. Maka banyaknya agregat yang diperlukan untuk masing-masing variasi kadar aspal sesuai proporsi dan dihitung berdasarkan ukuran saringan terhadap berat benda uji dengan kadar aspal rencana seperti yang ditampilkan pada Tabel 4.

Berdasarkan perhitungan kebutuhan agregat diatas dapat ditentukan nilai dari kadar *filler* yang digunakan dalah 5,85%. Banyaknya *filler* yang diperlukan untuk masing-masing variasi kadar aspal dapat dilihat pada Tabel 4.

C.6.2 Persiapan Aspal

Persiapan yang dilakukan terhadap aspal yaitu dengan memanaskan pada suhu di bawah titik nyalanya hingga aspal mencair. Untuk membuat seluruh variasi campuran aspal dan

Agregat berdasarkan Tabel 4 diperlukan berat ± 1200 gram. Banyaknya aspal yang diperlukan untuk masing-masing variasi kadar aspal dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 4. Berat Agregat Yang Diperlukan Untuk Satu Campuran Pada masing-masing Variasi Kadar Aspal

Nomor Saringan	Persentase Agregat Terhadap Lolos Saringan	Berat Agregat yang diperlukan berdasarkan Variasi Kadar Aspal				
		5%	5,5%	6%	6,5%	7%
mm	inch	gr	gr	gr	gr	gr
19	3/4"					
12,5	1/2"	9,12	103,97	103,43	102,88	102,33
9,5	3/8"	4,88	55,67	55,38	55,08	54,79
4,75	No. 4	19,02	216,78	215,64	214,49	213,35
2,36	No. 8	32,67	372,39	370,43	368,47	366,51
1,18	No. 16	7,85	89,46	88,99	88,52	88,05
0,6	No. 30	2,43	27,76	27,61	27,46	27,32
0,3	No. 50	2,04	23,29	23,16	23,04	22,92
0,15	No. 100	1,19	13,57	13,50	13,43	13,36
0,075	No. 200	3,95	45,05	44,81	44,57	44,33
	Pan/Filler	5,85	66,67	66,32	65,97	65,62
	Pasir	125,40	125,40	124,74	124,08	123,42
	Total (gr)	100,00	1140,00	1134,00	1128,00	1122,00

Tabel 5. Kadar Aspal untuk Benda Uji

Kadar Aspal (%)	5	5,5	6	6,5	7
Berat dalam 1 Benda Uji (gr)	60	66	72	78	84

Tabel 6. Berat Limbah Beton Yang Diperlukan Untuk Satu Campuran Pada masing-masing Variasi Kadar Aspal

Kadar Aspal %	Variasi Agregat %	Kode Campuran	Filler		Total gr
			Limbah Beton gr	Agregat Normal gr	
5	0 : 100	A	0,00	778,79	
	25 : 75	B	194,70	584,09	
	50 : 50	C	389,39	389,39	1946,96
	75 : 25	D	584,09	194,70	
	100 : 0	E	778,79	0,00	
5,5	0 : 100	A	0,00	774,69	
	25 : 75	B	193,67	581,02	
	50 : 50	C	387,34	387,34	1936,72
	75 : 25	D	581,02	193,67	
	100 : 0	E	774,69	0,00	
6	0 : 100	A	0,00	770,59	
	25 : 75	B	192,65	577,94	
	50 : 50	C	385,29	385,29	1926,47
	75 : 25	D	577,94	192,65	
	100 : 0	E	770,59	0,00	
6,5	0 : 100	A	0,00	766,49	
	25 : 75	B	191,62	574,87	
	50 : 50	C	383,24	383,24	1916,22
	75 : 25	D	574,87	191,62	
	100 : 0	E	766,49	0,00	
7	0 : 100	A	0,00	762,39	
	25 : 75	B	190,60	571,79	
	50 : 50	C	381,20	381,20	1905,98
	75 : 25	D	571,79	190,60	
	100 : 0	E	762,39	0,00	
Jumlah (gr)			9632,35	9632,35	

C.6.3 Pembuatan Benda Uji

Langkah pembuatan benda uji *Marshall* berdasarkan RSNI M-01-2003 yang merupakan rujukan dari Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 3

C.6.4 Menentukan Kadar Aspal Optimum

Kadar Aspal Optimum diperoleh dari nilai yang memenuhi semua kriteria *marshall*.

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

D.1 Hasil Pengujian Bahan Penyusun

Sebelum digunakan sebagai bahan campuran Laston, semua material atau bahan penyusun Laston harus diuji karakteristiknya terlebih dahulu. 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 Esso. 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	
				Min	Maks
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		

Dari hasil pengujian aspal PEN 60/70 yang dapat dilihat pada Tabel 7 menunjukkan karakteristik aspal telah memenuhi spesifikasi yang ditentukan. Maka aspal tersebut bisa

digunakan sebagai bahan penyusun Laston dalam penelitian ini.

D.1.2 Hasil Pengujian Agregat

Agregat yang diuji dalam penelitian ini adalah agregat kasar lolos saringan 3/4 sampai tertahan saringan no.8, agregat sedang lolos saringan no. 8 sampai tertahan saringan no. 200 dan agregat halus adalah agregat yang lolos saringan no. 200. Agregat dari limbah beton yang diuji dalam penelitian ini adalah agregat kasar lolos saringan 3/4 sampai tertahan saringan no.8. Hasil pengujian agregat dapat dilihat pada Tabel 8 dan Tabel 9.

Tabel 8. Hasil Pengujian Agregat Kasar

Pengujian			Standar	Hasil Pengujian	Spesifikasi	
					Min	Maks
Abrasi dengan mesin <i>Los Angeles</i> (%)	Campuran AC Modifikasi	100 putaran	SNI 2417:2008	-	6	
		500 putaran		-	30	
	Semua jenis AC bergradasi lainnya	100 putaran		-	8	
		500 putaran		39,56	40	
Kelekatatan agregat terhadap aspal (%)			SNI 2439:2011	97,18	95	
Butir pecah pada agregat kasar (%)			SNI 7619:2012	92,97	95-90	
Berat Jenis Bulk				2,55		
Berat Jenis SSD			SNI 03-1969-1990	2,59		
Berat Jenis Apparent				2,65		
Penyerapan				1,37	3%	

Tabel 9. Hasil Pengujian Agregat Limbah Beton

Pengujian			Standar	Hasil Pengujian	Spesifikasi	
					Min	Maks
Abrasi dengan mesin <i>Los Angeles</i> (%)	Campuran AC Modifikasi	100 putaran	SNI 2417:2008	-	6	
		500 putaran		-	30	
	Semua jenis AC bergradasi lainnya	100 putaran		-	8	
		500 putaran		37,77	40	
Kelekatatan agregat terhadap aspal (%)			SNI 2439:2011	96,28	95	
Kekuatan agregat terhadap tumbukan			BS 812Part 3:1975	7,22%	30%	
Berat Jenis Bulk				2,45		
Berat Jenis SSD			SNI 03-1969-1990	2,50		
Berat Jenis Apparent				2,57		
Penyerapan				1,84	3%	

Tabel 10. Hasil Pengujian Agregat Halus

Pengujian	Standar	Hasil Pengujian	Spesifikasi	
			Min	Maks
Angularitas dengan uji kadar rongga (%)	SNI 03-6877-2002	47,57	45	
Berat Jenis Bulk	SNI 03-1969-1990	2,63		
Berat Jenis SSD		2,67		
Berat Jenis Apparent		2,73		
Penyerapan		1,33%		3%

Dari Tabel 8, 9 dan 10 dapat dilihat, bahwa pengujian agregat kasar dan halus telah memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan. Maka dapat digunakan sebagai bahan campuran beraspal Laston.

D.2 Analisis dan Hasil Pengujian Campuran AC-BC

Dari hasil pengujian *Marshall* diperoleh nilai stabilitas dan kelelahan (*flow*), kemudian dari hasil tersebut dilakukan perhitungan beberapa nilai-nilai seperti *VIM*, *VMA*, *VFA* dan *Marshall Quotient (MQ)*. Untuk contoh perhitungan menggunakan benda uji nomor 1 pada kadar aspal 5,5% dan limbah beton variasi 50-50. Dari hasil perhitungan karakteristik *Marshall* didapat hasil 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 $f = 3,09 \text{ mm}$

11. *Marshall Quotient* (Persamaan 13)

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

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

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

Metode yang digunakan dalam penentuan KAO adalah menggunakan SNI 06-2489-1991. Hasil pengujian karakteristik

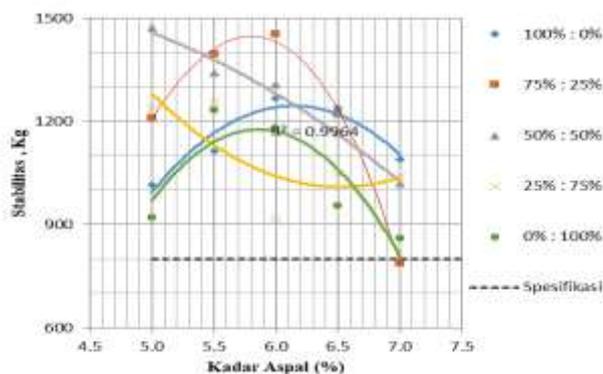
Marshall untuk komposisi limbah beton yang berbeda dapat dilihat pada Tabel 11. berikut.

Tabel 11. Hasil Pengujian Karakteristik Marshall untuk Mencari KAO

Sifat-Sifat Material	Kadar Aspal (%)	Hasil Pengujian Campuran Aspal Variasi limbah beton					Spesifikasi	
		Limbah 0%	Limbah 25%	Limbah 50%	Limbah 75%	Limbah 100%	Min	Maks
VMA, %	5,0	15,35	13,64	14,96	14,37	16,35	15	
	5,5	15,84	15,04	14,94	14,93	14,70		
	6,0	17,91	15,44	15,61	15,71	16,27		
	6,5	17,54	16,18	16,43	16,46	17,53		
	7,0	17,84	16,91	17,29	16,00	17,77		
VIM, %	5,0	5,33	3,53	5,11	4,54	6,85	3	5
	5,5	4,70	3,92	3,92	4,00	3,85		
	6,0	5,76	3,20	3,49	3,71	4,47		
	6,5	4,30	2,85	3,25	3,39	4,76		
	7,0	3,46	2,52	3,07	1,67	3,88		
VFA, %	5,0	65,61	74,11	66,29	68,53	58,19	65	
	5,5	70,50	73,95	73,84	73,39	74,08		
	6,0	67,91	79,45	78,05	76,44	72,85		
	6,5	77,67	82,50	80,24	79,50	72,96		
	7,0	80,78	82,20	82,35	89,60	78,82		
Stabilitas, Kg	5,0	1015,00	1209,84	1472,58	1238,10	920,65	800	
	5,5	1114,14	1394,93	1340,40	1256,97	1233,14		
	6,0	1265,86	1453,62	1306,63	916,59	1179,05		
	6,5	1238,01	1219,59	1165,78	1048,14	955,19		
	7,0	1089,94	787,62	1018,43	1037,39	860,66		
Flow, mm	5,0	3,73	3,00	3,30	3,63	3,90	2	4
	5,5	3,44	3,00	3,90	4,30	3,97		
	6,0	4,22	3,53	3,53	4,87	3,93		
	6,5	4,33	3,70	3,83	4,17	4,80		
	7,0	5,23	3,23	4,20	4,40	4,77		
MQ Kg/m ³	5,0	272,47	403,35	448,04	340,78	226,59	250	
	5,5	324,76	470,80	347,85	293,35	303,31		
	6,0	300,94	410,62	370,98	188,54	289,96		
	6,5	286,12	329,92	303,86	251,66	200,86		
	7,0	209,26	243,76	242,53	236,47	185,33		

D.3.1 Rekapitulasi Nilai stabilitas Pada Karakteristik Marshall

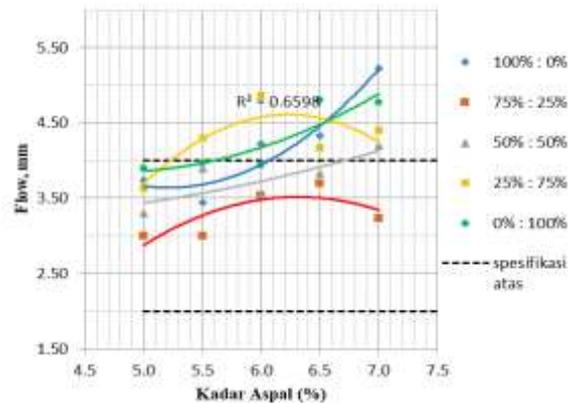
Dari hasil pengujian masing masing kombinasi pada Gambar 2, diperoleh nilai optimum Stabilitas pada karakteristik Marshall.



Gambar 2. Grafik Perbandingan Stabilitas Pada Tiap Variasi Agregat Pada Tiap Kadar Aspal

D.3.2 Rekapitulasi Nilai Flow pada karakteristik Marshall

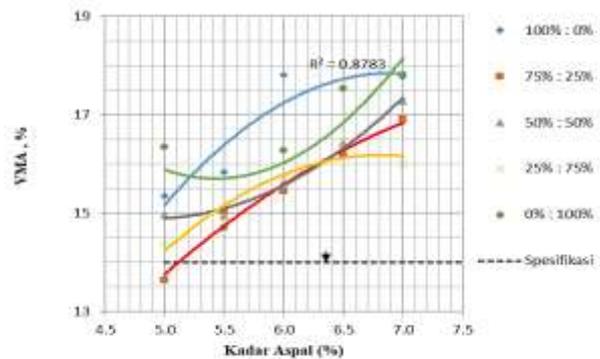
Dari hasil pengujian masing masing kombinasi pada Gambar 3, diperoleh nilai optimum flow pada karakteristik Marshall.



Gambar 3. Grafik Perbandingan Flow Tiap Variasi Agregat Pada Tiap Kadar Aspal

D.3.3 Rekapitulasi Nilai VMA pada karakteristik Marshall

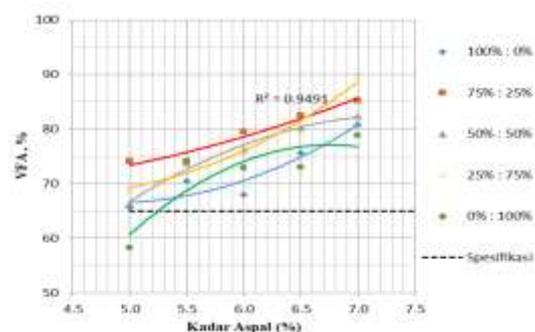
Dari hasil pengujian masing masing kombinasi pada Gambar 4, diperoleh nilai optimum VMA pada karakteristik Marshall.



Gambar 4. Grafik Perbandingan VMA Pada Tiap Variasi Agregat Pada Tiap Kadar Aspal

D.3.4 Rekapitulasi Nilai VFA pada karakteristik Marshall

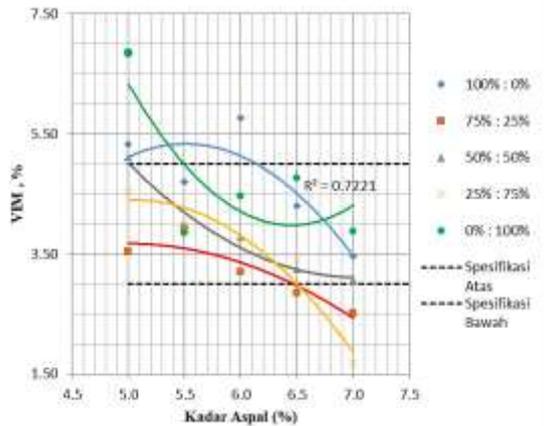
Dari hasil pengujian masing masing kombinasi pada Gambar 5, diperoleh nilai optimum VFA pada karakteristik Marshall.



Gambar 5. Grafik Perbandingan VFA Pada Tiap Variasi Agregat Pada Tiap Kadar Aspal

D.3.5 Rekapitulasi Nilai VIM pada karakteristik Marshall

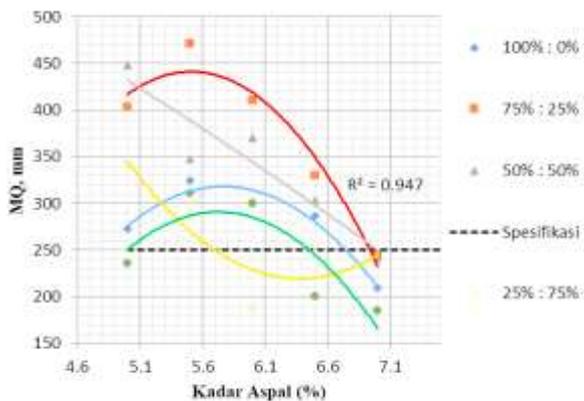
Dari hasil pengujian masing masing kombinasi pada Gambar 6, diperoleh nilai optimum VIM (Void In Mix) pada karakteristik Marshall.



Gambar 6. Grafik Perbandingan VIM Pada Tiap Variasi Agregat Pada Tiap Kadar Aspal

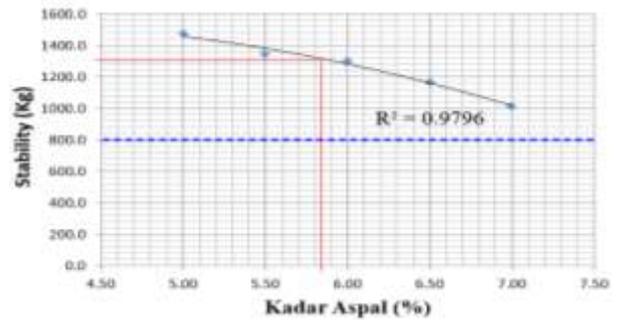
D.3.6 Rekapitulasi Nilai MQ pada karakteristik Marshall

Dari hasil pengujian masing masing kombinasi pada Gambar 7, diperoleh nilai optimum MQ pada karakteristik Marshall.



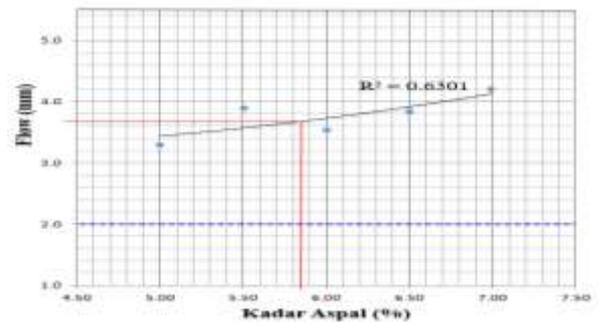
Gambar 7. Grafik Perbandingan Marshall Quotient Pada Tiap Variasi Agregat Pada Tiap Kadar Aspal

Data diatas merupakan rata-rata dari 3 buah benda uji untuk masing-masing variasi kadar aspal. Kemudian dari data di atas dibuatkan dalam bentuk grafik karakteristik Marshall yang dapat dilihat Tabel 12.



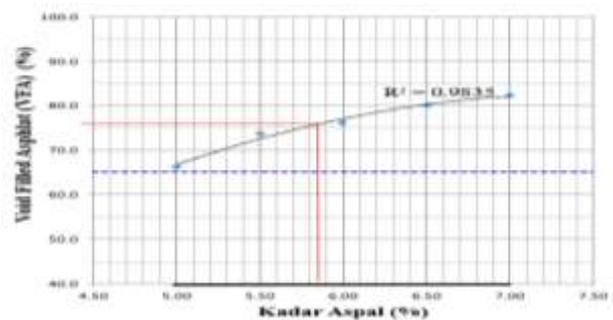
Gambar 8 Hasil uji karakteristik marshall pada nilai Stabilitas terhadap kadar Aspal dengan Variasi Limbah Beton 50:50

Berdasarkan grafik diatas, nilai stabilitas untuk semua kadar aspal memenuhi spesifikasi dan nilai optimum yang terdapat grafik diatas berada pada kadar aspal 5% dengan nilai sebesar 1459,6 Kg.



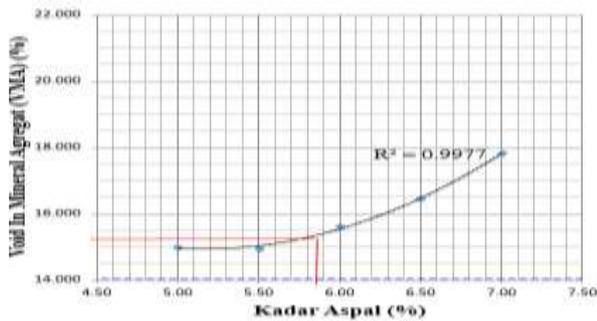
Gambar 9 Hasil uji karakteristik marshall pada nilai Flow terhadap kadar Aspal dengan Variasi limbah beton 50:50

Berdasarkan Gambar 9, dapat dilihat bahwa nilai Flow yang memenuhi spesifikasi ialah terdapat pada kadar aspal 5%, 5.5%, 6.0% dan 6.5%.



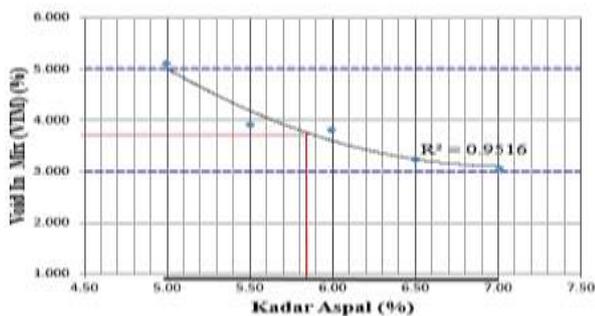
Gambar 10 Hasil uji karakteristik marshall pada nilai VFA terhadap kadar Aspal dengan Variasi Limbah Beton 50:50

Berdasarkan Gambar 10, Semua nilai VFA yang berada pada grafik diatas memenuhi spesifikasi yang diisyaratkan, yaitu 65%.



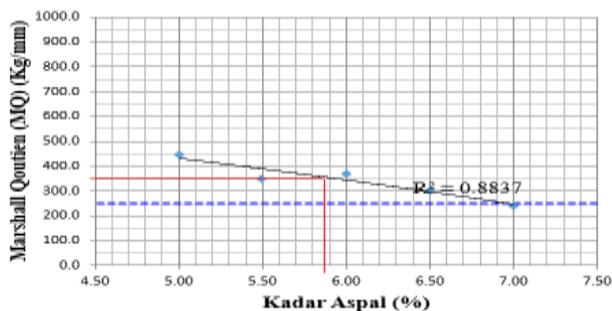
Gambar 11 Hasil uji karakteristik marshall pada nilai VMA terhadap kadar Aspal dengan Variasi Limbah Beton 50:50

Berdasarkan Gambar 11, semua nilai VMA pada variasi 50:50 yang terlihat pada grafik diatas memenuhi spesifikasi yang diisyaratkan, yaitu 14%. Nilai optimum yang didapat dari grafik diatas berada pada kadar aspal 7%, yaitu sebesar 17,823 %.



Gambar 12 Hasil uji karakteristik marshall pada nilai VIM terhadap kadar Aspal dengan Variasi Limbah Beton 50:50

Berdasarkan Gambar 12, Nilai VIM yang memenuhi spesifikasi (3%-5%) berada pada semua kadar aspal.



Gambar 13 Hasil uji karakteristik marshall pada nilai MQ terhadap kadar Aspal dengan Variasi Limbah beton 50:50

Berdasarkan Gambar 13, Nilai MQ yang memenuhi spesifikasi yang diisyaratkan (250 kg/mm) berada pada kadar aspal 5% sampai 6,5%. Nilai optimum yang dapat dilihat pada grafik diatas berada pada kadar aspal 5%, dengan nilai sebesar 434,8 kg/mm.

Tabel 12 Penentuan Kadar Aspal Optimum Variasi 50:50

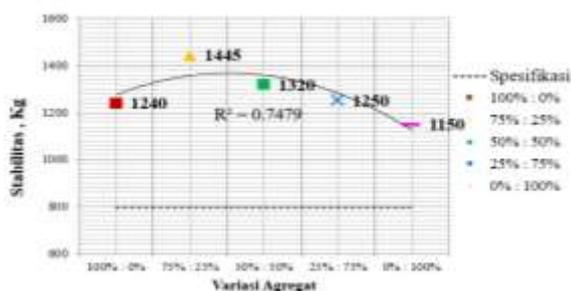
No	Kriteri	Spesifikasi	Kadar Aspal
1	Stability (Kg)	800	
2	Flow (mm)	2 - 4	
3	VIM (%)	3 - 5	
4	VFA (%)	Min 65	
5	VM _d (%)	Min 15	
6	MQ (Kg/mm)	Min 250	
KAO (%)			$\frac{(5.03 + 6.7)}{2} = 5.87\%$

Dari grafik dan tabel di atas diperoleh Kadar Aspal Optimum (KAO) untuk komposisi 50% agregat limbah beton dan 50% 5,87%. Sedangkan untuk komposisi 75% limbah beton diperoleh Kadar Aspal Optimum (KAO) 6,55%. Untuk komposisi 100% agregat limbah beton dan 0% diperoleh Kadar Aspal Optimum (KAO) 6,83%. Untuk komposisi 25% agregat limbah beton diperoleh Kadar Aspal Optimum (KAO) 6,40%. Untuk komposisi 0% agregat limbah beton diperoleh Kadar Aspal Optimum (KAO) 6,30%.

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

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 Gambar 13 yang diambil dari rata rata 3 sampel.



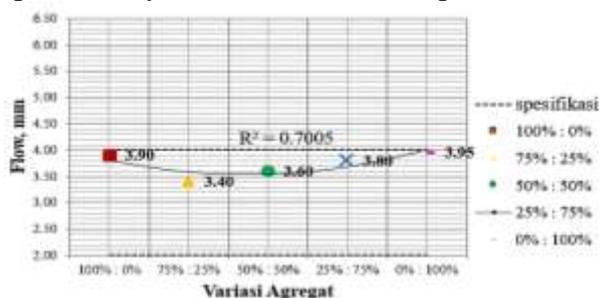
Gambar 14 Grafik Perbandingan *Stabilitas* Pada Tiap Variasi Agregat Dengan Kadar Aspal Optimum

Dari Gambar 14 dapat dilihat bahwa nilai stabilitas pada masing-masing komposisi penggantian agregat berada di atas spesifikasi yang disyaratkan yaitu 800 Kg. Stabilitas paling rendah dihasilkan oleh komposisi agregat 0:100 yaitu sebesar 2032 Kg.

D.4.2 Kelelahan (*Flow*)

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

Pada Gambar 15 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.



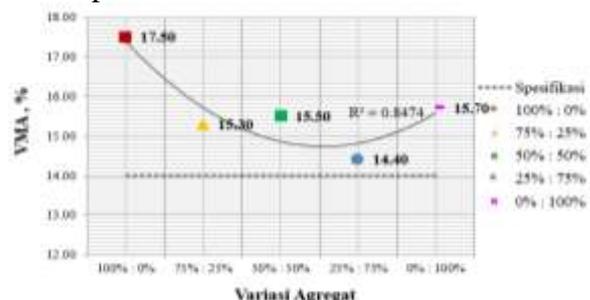
Gambar 15 Grafik Perbandingan *Flow* Pada Tiap Variasi Agregat Dengan Kadar Aspal Optimum

Jika ditinjau dari kadar aspal, semakin bertambahnya kadar aspal akan membuat nilai *flow* suatu campuran semakin meningkat. Pada penelitian ini hal tersebut dapat pada gambar 15.

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 16.



Gambar 16. Grafik Hubungan *VMA* dengan Variasi Agregat Dengan Kadar Aspal Optimum

Dari Gambar 16. dapat dilihat bahwa nilai *VMA* untuk semua komposisi agregat berada di atas nilai yang disyaratkan pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3 yaitu 14%. Nilai *VMA* paling rendah terdapat pada pada komposisi agregat 25:75 sebesar 14,40%. Pada komposisi agregat 0:100 didapatkan nilai sebesar 17,50% 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 17.



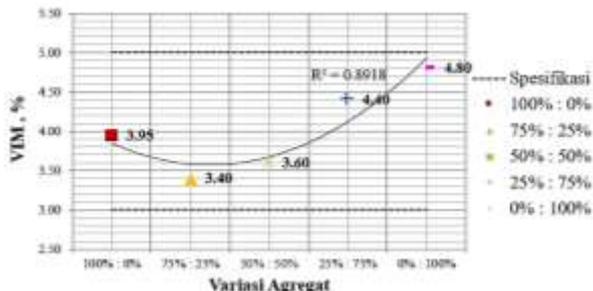
Gambar 17. Grafik Hubungan *VFA* dengan Variasi Agregat Dengan Kadar Aspal Optimum

Dari Gambar 17 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* nilai *VFA* paling rendah terdapat pada komposisi agregat 0:100 sebesar 69,00%, sedangkan nilai *VFA* paling

tinggi terdapat pada komposisi agregat 75:25 yaitu sebesar 77,50%.

D.4.5 Voids in Mixture (VIM)

VIM adalah rongga yang terdapat dalam total campuran beraspal. Hasil pengujian VIM dapat dilihat pada Gambar 18.

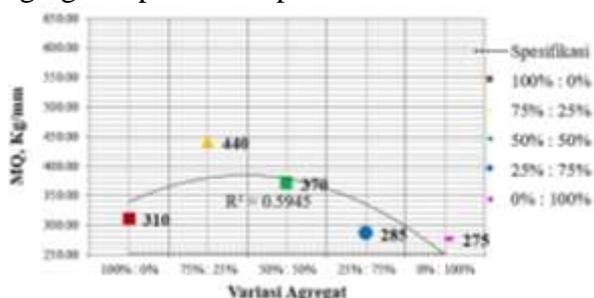


Gambar 18. Grafik Hubungan VIM dengan Variasi Agregat Dengan Kadar Aspal Optimum

Dari Gambar 18 dapat dilihat bahwa nilai VIM pada masing-masing komposisi penggantian agregat ada yang berada di atas spesifikasi dan ada yang masuk dalam spesifikasi yang disyaratkan yaitu sebesar 3-5%. Pada komposisi agregat 100:0 nilai VIM yang dihasilkan sebesar 3,93% dan nilai VIM paling rendah terdapat pada komposisi agregat 75:25 yaitu 3,40%.

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. Hubungan antara nilai MQ dengan variasi agregat dapat dilihat pada Tabel Gambar 19.



Gambar 19. Grafik Perbandingan Marshall Quotient Pada Tiap Variasi Agregat Dengan Kadar Aspal Optimum

Pada Gambar 18 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.

D.4.7 Rangkuman Karakteristik Marshall Terhadap Nilai KAO

Nilai-nilai karakteristik Marshall tersebut diuraikan dalam grafik yang dibatasi oleh spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3, Hasil rangkuman karakteristik Marshall untuk komposisi limbah beton yang berbeda dapat dilihat pada Tabel 12 berikut.

Tabel 13. Hasil Karakteristik Marshall Terhadap Nilai KAO

Sifat-sifat material yang diuji	100%	75%	50%	25%	0%
Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA) %	17,50	15,30	15,50	14,40	15,70
Rongga Dalam Campuran (VIM) %	3,95	3,40	3,60	4,40	4,80
Rongga Terisi Aspal (VFA) %	72,00	77,50	77,00	70,00	69,00
Stabilitas (Dengan Kalibrasi Alat), Kg	1240	1445	1320	1250	1150
Kelelehan (Flow), mm	3,90	3,40	3,60	3,80	3,95
Marshall Quotient (Kg/mm)	310	440	370	285	275
KAO	608	583	587	510	555

E. KESIMPULAN DAN SARAN

E.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan pengaruh penggunaan kombinasi limbah beton dan agregat batu pecah terhadap nilai karakteristik Marshall pada campuran AC-BC dapat disimpulkan sebagai berikut.

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. Untuk nilai karakteristik Marshall yang paling baik terdapat pada variasi 25:75 dengan nilai stabilitas = 1445kg, flow = 3,40 mm, VMA = 15,30%, VFA = 77,50%, VIM = 3,40% dan MQ = 440 Kg/mm.

E.2 Saran

Untuk penyempurnaan hasil penelitian serta untuk mengembangkan penelitian yang lebih lanjut disarankan untuk melakukan penelitian dengan memperhatikan hal-hal sebagai berikut

1. Diharapkan adanya pengujian bahan kandungan limbah beton yang digunakan

pada penelitian ini sebagai pelengkap analisis penelitian.

2. Diharapkan adanya penelitian tentang penggantian limbah lainnya pada campuran perkerasan yang sama (AC-BC).

Hendaknya proses pencampuran maupun pemadatan benda uji dalam penelitian tidak dilakukan secara manual agar kualitas benda uji yang dihasilkan sama dan mengurangi kesalahan yang terjadi selama penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Arys, Andhikatama. (2013) Pemanfaatan Limbah Beton Sebagai Pengganti. Agregat Kasar Pada Campuran Asphalt Concrete – Wearing Course. Jurnal Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta
- 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. 2003. RSNI-M-01-2003. *Metode Pengujian Campuran Beraspal Panas dengan Alat Marshall*. Jakarta: Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.
- Bina Marga. 2008. SNI 1969:2008. *Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. Jakarta: Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.
- Laboratorium Jalan Raya. 2017. Tuntunan Praktikum Jalan Raya, Fakultas Teknik, Universitas Riau.
- Muhammad . (2016) Pemanfaatan Limbah Beton Sebagai Pengganti. Agregat Kasar Pada Campuran Asphalt Concrete – Wearing Course. Jurnal Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta
- Shalahuddin. 2009. *Alat Berat & pemindahan Tanah Mekanis*. Jurusan Teknik Sipil. Pekanbaru: Universitas Riau.