

MODIFIKASI LASTON AC-WC MENGGUNAKAN LIMBAH BONGKARAN BETON

Heri Wahyudiono¹, Budi Winarno², Ki Catur Budi³, Sudjati⁴

Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kadiri

Jl. Selomangleng No. 1 Kediri

E-mail: heri_wahyudiono@unik-kediri.ac.id

ABSTRACT

The use of raw materials as road pavement materials in general uses materials that are still fairly common. Researchers are trying to use alternative materials as substitutes for aggregates that are exploited continuously. This research uses fine aggregate demolished concrete that has been destroyed. The method used was an experiment with asphalt content variation of 6%, 6.5%, 7%, 7.5%, 8%. This test uses the Marshall method which is the basis for calculating the stability and flow values. In the Marshall test the results of testing the characteristics of the table the highest VMA value with asphalt 6% with a value of 19.87%, the highest VIM value with asphalt 6% with a value of 7.91 Highest VFB value with asphalt 6.5% with 89.62% stability value with asphalt 7% with 3538 kg value, for the highest flow value with optimum asphalt is at 7.5% and 8% of VIM, VMA, VFB values, STABILITY, and MQ.

Keywords: Marshall Method, Laston ac-wc, Concrete Loading

1. PENDAHULUAN

Jalan adalah salah satu prasarana yang sangat penting dan sangat dibutuhkan oleh masyarakat karena berfungsi memperlancarkan mobilisasi dan arus transportasi darat pada daerah-daerah sekitarnya yang dapat mempermudah atau mempercepat perkembangan pembangunan baik itu infrastruktur maupun ekonomi suatu daerah sekaligus dapat memenuhi kebutuhan masyarakat, oleh karena itu “prasarana jalan memerlukan perhatian khusus terhadap segi keamanan dan kenyamanan jalan bagi pengendara. Material yang akan dipilih harus memenuhi sifat fleksibilitas, stabilitas, durabilitas, dan tahan terhadap air”, (Setya Budi, Liem, & Alokabel, 2017).

AC-WC (*Asphaltic Concrete-Wearing Course*) adalah salah satu jenis dari lapis perkerasan konstruksi perkerasan lentur. Jenis perkerasan ini merupakan campuran merata antara agregat dan aspal sebagai bahan pengikat pada suhu tertentu. Filler yang merupakan bahan pengisi campuran berfungsi untuk “meningkatkan stabilitas dan mengurangi rongga udara dalam campuran lapisan perkerasan”, (Fithra, 2017).

Menurut AASHTO (1998) menerangkan bahwa jenis aspal keras ditandai dengan angka penetrasi aspal. Angka tersebut menyatakan tingkat kekerasan aspal atau tingkat konsistensi aspal. Aspal untuk lapis beton harus terdiri dari salah satu aspal keras dengan penetrasi 60/70 atau 80/100 yang seragam, tidak mengandung air apabila dipanaskan sampai dengan suhu 175oC tidak berbusa. Semakin besar angka penetrasi aspal tingkat kekerasan aspal semakin rendah (aspal semakin buruk), sebaliknya semakin kecil angka penetrasi aspal tersebut maka tingkat kekerasan aspal semakin tinggi (aspal semakin semipadat atau padat).

Jumlah bahan pengisi dalam campuran akan sangat kaku dan mudah retak disamping itu, membutuhkan banyak aspal untuk memenuhi kemampuan proses. Sebaliknya, kekurangan bahan campuran akan sangat fleksibel dan mudah terdistorsi oleh roda kendaraan sehingga menghasilkan jalan bergelombang. Bahan pengisi dalam campuran beton aspal adalah bahan yang melewati filter No.200 (0,075 mm), macam-macam bahan pengisi campuran aspal yang dapat digunakan seperti: abu batu, portland cement (PC), debu dolomite, abu terbang, bongkaran genteng (yang dihaluskan untuk campuran agregat halus). Pada penelitian ini menggunakan bongkaran beton sebagai agregat halus yang dihancurkan sesuai dengan gradasi ayakan yang telah ditentukan. Dan penelitian ini membahas hasil uji tes marshall aspal beton dengan mengganti agregat halus dengan menggunakan limbah bongkaran beton dan untuk mengetahui kadar aspal optimum yang dihasilkan pada laston dengan mengganti bongkaran beton sebagai agregat halus

2. METODE

Tahap-tahap penelitian yang akan dilakukan mulai dari awal sampai akhir seperti yang dijelaskan sebagai berikut:

1. Persiapan.

Pada tahap ini yang dilakukan yaitu menyiapkan bahan, dan pengecekan alat-alat yang akan digunakan. Persiapan bahan seperti aspal, agregat kasar, agregat halus, filler.

2. Pengujian bahan

➤ Aspal.

Pengujian aspal dilakukan dengan melakukan uji penetrasi, titik lembek, daktilitas, berat jenis, dan kehilangan berat. Standar pengujian aspal seperti tertera pada Tabel 1 dibawah ini

Tabel 2.1 Standar Pengujian Aspal

No	Jenis Pengujian	Standar Uji
1	Penetrasi 25°C (mm)	SNI 06-2456-1991
2	Titik Lembek (°C)	SNI 06-2434-1991
3	Daktilitas pada 25 ° (cm)	SNI 06-2432-1991
4	Berat jenis	SNI 06-2441-1991
5	Kehilangan berat	SNI 06-2440-1991

- Agregat kasar, Agregat halus, dan filler
- Tes agregat diperlukan sebagai pengisi dalam campuran aspal dengan komposisi gradasi sesuai dengan gradasi bekas yang memenuhi spesifikasi yang ada. Untuk agregat kasar, agregat halus, uji analisis filter, berat jenis, penyerapan dan pengisi, semen Portland dengan penggunaan 4% pada setiap objek uji. Berikut ini adalah ketentuan standar
- pemeriksaan agregat pada Tabel 3.2 dan 3.3

Tabel 2.2. Metode Pengujian Karakteristi Agregat Kasar

Jenis Pengujian	Standar Uji
Penyerapan air	SNI 03-1969-1990
Berat jenis	SNI 03-1969-1990
Indeks kepipihan	RSNI T-01-2005
Keausan agregat dengan mesin los angeles	SNI 2417-2008
Analisa saringan	SNI 03-1968-1990

Jenis pengujian	Metode uji
Penyerapan air	SNI 03-1970-1990
Berat jenis	SNI 03-1970-1990
Sand equivalent	SNI 03-4428-1997
Analisa saringan	SNI 03-1968-1990

- Perencanaan campuran
- Perancangan gradasi agregat atau gradasi target dilakukan untuk mendapatkan
- suatu perbandingan yang tepat antara agregat kasar, agregat halus, dan agregat pengisi sehingga diperoleh suatu campuran yang memenuhi persyaratan. yang antara lain memenuhi spesifikasi:
 - a. agregat AC-WC yang digunakan adalah dengan mengambil batas bawah dan batas tengah berat pengujian gradasi ayakan mengacu spesifikasi Bina Marga 2010 yang tertera pada Tabel 2.3

Tabel 2.3. Gradasi Agregat

Ukuran Ayakan (mm)	% Berat yang lolos terhadap total agregat dalam campuran		
	Laston AC		
	AC-WC	AC-BC	AC-Base
37,5	-	-	100
25	-	100	90-100
19	100	90-100	76-90

Ukuran Ayakan (mm)	% Berat yang lolos terhadap total agregat dalam campuran		
	Laston AC		
	AC-WC	AC-BC	AC-Base
12,5	90-100	75-90	60-78
9,5	77-90	66-82	52-71
4,75	53-69	46-64	35-54
2,36	33-53	30-49	23-41
1,18	21-40	18-38	13-30
0,6	14-30	12-28.	10-22.
0,3	9-22.	7-20.	6-15.
0,15	6-15.	5-13.	4-10.
0,075	4-9.	4-8.	3-7.

- b. Estimasi kadar genteng optimum awal merupakan perkiraan kadar genteng optimum, sesuai dengan spesifikasi data dari hasil trial and error dan didasarkan pada nilai campuran tipe AC-WC

2.1. Agregat

Menurut Departemen Pekerjaan Umum-Direktorat Jendral Bina Marga, (2010) agregat adalah “sekumpulan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lainnya berupa hasil alam atau buatan. jumlah agregat dalam campuran aspal umumnya berkisar antara 90% hingga 95% dari total berat campuran atau 70% hingga 85% dari volume campuran aspal. Gradasi agregat adalah distribusi ukuran partikel dan dinyatakan sebagai persentase dari berat total”, (Ardianti, 2018).

- a. Perhitungan berat jenis maksimum (BJ Max)

$$\left\{ 100 \left(\frac{\%agr.}{B.J agr.} + \frac{\%aspal}{B.J aspal} \right) \right\}$$
- b. Jika semua data telah diperoleh, langkah selanjutnya “menghitung berat sampel, berat aspal, berat agregat dan menghitung kebutuhan agregat tiap sampel berdasarkan presentase tertahan”, (Gunarto, 2019).
 - Berat sampel (G)
 - $G = \frac{C}{F} \dots \dots \dots (1)$
 - Keterangan:
C : berat isi
F : berat kondisi jenuh – berat dalam air
 - Berat aspal (Gb)
 - $G_b = P_b \times B_{jmax} \dots \dots \dots (2)$
 - Berat agregat
 - Berat agregat = G – Gb.....(3)

2.2. Agregat Kasar

“Fraksi karang untuk karang ini adalah 2,36 mm (No. 8) dalam karang yang dipertahankan, menurut filter ASTM. Unit ini membuat trotoar lebih stabil dan memiliki ketahanan slip yang tinggi (slip resistance) sehingga lebih menjamin keselamatan berkendara. Kesepakatan kasar ini harus tahan terhadap keausan saat digunakan pada beton aspal, yang harus dipenuhi nilai uji Abrasi Los Angeles”, (Natalia, 2010).

Tabel 2.4. Ketentuan Agregat Kasar untuk Campuran Aspal Beton

Jenis pemeriksaan	Standar	Syarat maks/min
Abrasi dengan mesin los Angeles	SNI 03-3407-1994	Maks. 12%
Abrasi dengan mesin Los Angeles	SNI 03-2417-1991	Maks. 40%
Kelekatan Agregat terhadap aspal	SNI 03-2439-1991	Min. 95%
Agularitas	SNI 03-6887-2002	95/90(*)
Partikel Pipih dan Lonjong	RSNI T-01-2005	Maks. 10%
Material lolos saringan No.200	SNI 03-4142-1996	Maks. 1%

2.3. Agregat Halus

Agregat halus adalah “mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran aspal beton yang memiliki ukuran butiran kurang dari 2.36 mm atau lolos saringan no 8 Sesuai SNI 03-6819-2002”, (Utami, Rohmania, & Sipil, n.d.). Fungsinya untuk “menyediakan stabilitas dan mengurangi deformasi permanen dari perkerasan melalui keadaan saling mengunci dan gesekan antar butiran. Agregat halus menggunakan pasir sungai brantas, saringan yang digunakan adalah tertahan saringan no. 16, 30, 50, 100, dan 200. Sumber bahan harus terdiri dari pasir atau pengayakan batu pecah dan terdiri dari bahan yang lolos ayakan No. 8 (2,36 mm) sesuai SNI 03-6819-2002. Fraksi agregat halus pecah mesin dan pasir harus ditumbuk terpisah dari agregat kasar”, (Candra, Gardjito, Cahyo, & Prasetyo, n.d.).

Tabel 2.5. Ketentuan Agregat Halus untuk campuran Aspal Beton

Jenis Pemeriksaan	Standar	Syarat Maks/Min
Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Maks. 50%
Material Lolos saringan No.200	SNI 03-4142-1996	Maks. 8%
Angularitas	SNI 03-6877-2002	Maks. 45%

2.4. Bongkaran Beton

Bongkaran beton adalah “benda yang dibuang baik berasal dari alam ataupun dari hasil proses teknologi yang kehadirannya pada suatu saat dan tempat tertentu tidak dikehendaki karena tidak memiliki nilai ekonomis. Sedangkan limbah beton adalah material beton yang sudah tidak terpakai lagi untuk konstruksi”, (McNulty, 2013). Limbah beton yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah limbah beton yang berasal dari laboratorium teknik sipil Universitas Kadiri.

2.5. Filler

Pengisi dapat terdiri dari batu kapur, debu dolomit, semen portland, fly ash, semen dengan banyak debu tungku atau bahkan mineral non-plastik lainnya. “Bahan pengisi yang ditambahkan harus kering dan bebas dari gumpalan- gumpalan dan bila diuji dengan penyaringan sesuai SNI 03-4142- 1996 harus mengandung bahan yang lolos saringan

No.200 (75 micron) tidak kurang dari 75 %”, (Tahir, 2009). Jika isinya terlalu tinggi, pengisi akan menyebabkan campuran menjadi rapuh dan mudah retak saat terpapar oleh beban lalu lintas, tetapi jika terlalu sedikit pengisi menghasilkan campuran lembut dalam cuaca hangat. Dalam penelitian ini, selain bahan pengisi dari limbah bongkaran beton (yang disiapkan untuk melewati filter no. 200), ditambahkan untuk mengetahui apa dampak penambahan itu.

Tabel 2.6. Spesifikasi filler untuk campuran beton aspal

Saringan (mm)	% Lolos
0,600 (No. 30)	100
0,300 (No. 50)	90-100
0,075 (No. 200)	75-100

2.6. Metode Marshall

Desain campuran berdasarkan metode Marshall ditemukan oleh Bruce Marshall. Prinsip dasar metode Marshall adalah “studi tentang stabilitas dan kelelahan (aliran), serta analisis kerapatan pori dari campuran padat yang terbentuk Hasil pengujian Marshall adalah sifat campuran beraspal dan dapat diperoleh setelah seluruh”, (Bernard & Sitamorang, 2014). persyaratan material, berat jenis, dan perkiraan kadar aspal rencana telah terpenuhi. Diperlukan Cincin uji digunakan untuk mengukur nilai stabilitas, dan flow meter untuk mengukur aliran atau aliran plastik. Secara umum, pengujian Marshall meliputi: persiapan spesimen uji, penentuan kerapatan curah spesimen uji, pengecekan stabilitas dan nilai aliran, dan perhitungan sifat volumetrik spesimen uji. Hasil pengujian porositas benda uji sesuai dengan ketentuan, “nilai porositas yang harus dimiliki oleh campuran Aspal Porus yaitu 15%-25% dimana nilai porositas yang diperoleh dari pengujian yaitu berkisar 18,25%”, (Thanaya, Purbanto, Ariawan, & Nugraha, 2018). Ada beberapa hal yang perlu dipertimbangkan saat menyiapkan spesimen tes:

1. Jumlah sampel uji yang disiapkan,
2. Persiapan agregat kasar dan halus untuk digunakan
3. Penentuan suhu pencampuran dan pematatan
4. Persiapan campuran beton aspal
5. Pematatan spesimen uji
6. Persiapan untuk pengujian Marshall

Proses pengujian Marshall kemudian dilakukan sesuai dengan prosedur pengujian yang mengacu pada SNI yaitu sebagai berikut : “nilai stabilitas, berat volume, kelelahan plastik (saat ini), VIM, VMA, penyerapan aspal, ketebalan lapisan aspal (film aspal), konten aspal efektif, hasil untuk Marshall (Marshall koefisien)”, (Rahim, Wihardi, & Muhiddin, n.d.).

A. “Unit weight

$$Gmb = \frac{W}{B} \dots \dots \dots (4)$$

Dimana:

Gmb = Berat volume kering campuran (gram/cm³)
W = Berat benda uji di udara (gram)
B = volume benda uji (cm³)

B. VIM (Voids In Mix)

$$VIM = [1 - \frac{Gse}{BJ\ max}] \times 100\% \dots\dots\dots(5)$$

$$Gse = \frac{Pmm - Pb}{\frac{Pmm}{BJ\ max} - \frac{Pb}{Gb}} \dots\dots\dots(6)$$

Dimana:
VIM = rongga udara terhadap campuran (%)
Gse = Berat jenis efektif agregat
Pmm = Presentase berat total campuran (=100)
BJ max = Berat jenis maksimum campuran
Pb = Kadar aspal
Gb = Berat jenis aspal

C. Stabilitas (Stability)

$$Stability = O \times E' \times Q \dots\dots\dots(7)$$

Dimana:
Stability: stabilitas Marshall
O : pembacaan arloji stabilitas (Lbf)
E': angka korelasi volume benda uji
Q: kalibrasi alat Marshall"

D. Flow (kelelahan plastis)

Flow (kelelahan) adalah "deformasi vertikal yang terjadi mulai dari awal pembebanan sampai dengan kondisi stabilitas menurun, yang menunjukkan besarnya deformasi yang terjadi pada lapis perkerasan akibat menahan beban yang diterimanya, pengujian dengan alat Marshall", (Dengan & Marshall, 2015). Nilai flow diperoleh dari pembacaan arloji kelelahan pada alat uji Marshall dan dinyatakan dalam satuan mm.

E. "VMA (Voids in Mineral Agregat)

$$VMA = 100 - \frac{100 - Pb}{Gsb} \times Gmb \dots\dots\dots(8)$$

Dimana:
VMA = Volume pori antara butir agregat di dalam beton aspal (%)
Gsb = Berat jenis kering total agregat
Gmb = Berat volume kering campuran (gram/cm³)

F. VFB (Voids Filled Bitument)

$$VFB = \frac{100(VMA - VIM)}{dVMA} \% \text{ dari VMA} \dots\dots\dots(9)$$

Dimana:
VFB : Volume pori antara butir agregat yang terisi aspal
VMA : Volume pori antara butir agregat di dalam beton aspal padat (%)
VIM : volume rongga udara dalam campuran (%)

G. MQ (Marshall Quetiont)

$$MQ = \frac{S}{F} \dots\dots\dots(10)$$

Dimana:
MQ = Marshall Quotient (kg/mm)

S = Stabilitas (kg)
F = Nilai flow (m)"

2.7 Aspal

Aspal didefinisikan sebagai "material berwarna hitam atau coklat tua, pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat. Jika dipanaskan sampai suhu temperatur tertentu aspal dapat menjadi lunak/cair sehingga dapat membungkus partikel agregat pada waktu pembuatan aspal beton atau dapat masuk ke dalam pori-pori yang ada pada penyemprotan/penyiraman pada perkerasan macadam maupun pelaburan", (Dengan & Marshall, 2015). Lapis aspal beton merupakan "jenis tertinggi dari perkerasan yang merupakan campuran dari bitumen dengan agregat bergradasi dan cocok untuk jalan yang layak dilalui kendaraan berat", (Rahim, Wihardi, & Muhiddin, n.d.). Suhu pencampuran ditentukan berdasarkan "jenis aspal yang akan digunakan. Jika digunakan semen aspal, maka suhu pencampuran umumnya antara 145°-155° C, sehingga disebut aspal beton campuran panas. Campuran ini lebih dikenal juga dengan nama hotmix", (Gunarto & Candra, 2019).

2.8 Hasil Pemeriksaan Karakteristik Aspal

Hasil pengujian karakteristik aspal minyak menggunakan metode SNI dapat dilihat pada table 7.

Tabel 2.7 Hasil pengujian Aspal minyak

No	Pengujian	Hasil	Spesifikasi		Satuan
			Min.	Max.	
1	Penetrasi 25° Sebelum kehilangan berat	65	60	79	0,1 mm
2	Titik Lembek	52	48	58	°C
3	Daktilitas pada 25° C	115	100	-	Cm
4	Titik nyala	320	200	-	°C
5	Berat Jenis	1,01	1	-	
6	Kehilangan Berat	0,2	-	0,8	%
7	Penetrasi 25° Setelah kehilangan berat	85	54	-	0,1 mm

2.9 Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat Kasar Batu Koral

Tabel 2.8. Hasil pengujian agregat kasar Batu Koral

No	Pemeriksaan	Hasil Uji	Spesifikasi		Satuan
			Min	Max	
1	penyerapan air				
	Batu koral 0,5-1 cm	2,016	-	3	%
	Batu koral 1-2 cm	2,016	-	3	%
2	Berat jenis				
	Batu koral 0,5-1 cm				
	Berat jenis bulk	2,624	2,5	-	-
	Berat jenis SSD	2,54	2,5	-	-
	Berat jenis Semu	2,568	2,5	-	-
	Batu koral 1-2 cm				
	Berat jenis bulk	2,623	2,5	-	-
Berat jenis SSD	2,622	2,5	-	-	
	Berat jenis Semu	2,57	2,5	-	-
No	Pemeriksaan	Hasil Uji	Spesifikasi		Satuan
			Min	Max	

Indeks Kepipihan					
3	Batu koral 0,5-1 cm	0,5	-	25	%
	Batu Koral 1-2 cm	0,7	-	25	%
Keausan agregat					
4	Batu Koral 0,5-1 cm	27,25	-	40	%
	Batu Koral 1-2 cm	24,2	-	40	%
Kelekatan Agregat Terhadap Aspal					
5	Batu Koral 0,5-1 cm	>95	-	>95	%
	Batu Koral 1-2 cm	>95	-	>95	%
Kekuatan Agregat Terhadap Tumbukan					
6	Batu Koral 0,5-1 cm	17	10	30	%
	Batu Koral 1-2 cm	14	10	30	%

2.10 Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat Halus Limbah Bongkaran Beton

Tabel 2.9. Hasil pengujian dari Agregat Halus Limbah Bongkaran Beton

No	Pemeriksaan	Hasil uji	Spesifikasi		Satuan
			Min	Max	
1	Berat jenis bulk	2,02	2,5	-	gr/cm ³
2	Berat jenis semu (APP _{rent})	2,18	2,5	-	gr/cm ³

2.11 Hasil Pemeriksaan Karakteristik Filler Semen

Tabel 2.10 Hasil pengujian dari Filler Semen

No	Pemeriksaan	Hasil Uji	Spesifikasi		sat.
			Min	Max	
1	Penyerapan air	2,200	-	3	%
2	Berat jenis bulk	2,432	2,5	-	-
	Berat jenis SSD	2,500	2,5	-	-
	Berat jenis semu	2,534	2,5	-	-

Berdasarkan pada hasil pengujian karakteristik agregat kasar (Batu Koral), agregat halus (Limbah Pecahan Genteng), filler (Semen) terlihat bahwa agregat yang digunakan memenuhi spesifikasi Bina Marga untuk bahan jalan yang disyaratkan.

2.12 Penentuan Gradasi Campuran

Proporsi agregat gabungan didapatkan dari hasil perhitungan keausan agregat kasar sebagai penentu awal layak atau tidaknya digunakan sebagai bahan campuran laston ini, setelah nilai keausan ini sudah memenuhi yakni <40% barulah nilai perbandingan komposisi rencana dikalikan dengan nilai persen lolos pada analisa saringan. Setelah itu, hasil yang diperoleh untuk semua komponen yaitu batu pecah gamping 1-2 cm, batu pecah 0,5-1 cm, abu batu (agregat halus), dan filler kemudian dijumlahkan dan dilakukan analisa saringan hingga didapatkan presentase gabungan yang diharapkan. Selanjutnya, proporsi agregat gabungan yang telah diperoleh tersebut disesuaikan dengan nilai interval spesifikasi. Untuk lebih jelasnya diulas pada tabel

Tabel 2.11. Penentuan Gradasi Campuran Batu Koral

No	Ukuran saringan	Spesifikasi	Rancaangan Gradasi	
		% Lolos	% Lolos	% tertahan
1	3/4"	100	100	-
2	1/2"	90-100	90	10
3	3/8"	75-90	77	13
4	No.4	55-72	55	22
5	No.8	35-53	35	20
6	No.16	30-35	30	5
7	No.30	25-30	25	5
8	No.50	18-22	20	5
9	No.100	10-15.	15	5
10	No.200	06-09.	7	8
11	PAN	0	-	7

3. PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pemeriksaan Pengujian

Marshall

Pengujian Marshall yang dilakukan pada umumnya adalah menganut pada 75 tumbukan dengan masing-masing bidang. Parameter yang didapatkan yaitu "stabilitas dan kelenturan atau kelelahan (*flow*) yang menunjukkan ukuran ketahanan suatu benda uji dalam menerima beban diperoleh dari hasil analisis terhadap pengujian Marshall. Selain itu, nilai volumetrik yang terdiri rongga diantara agregat (VMA), rongga terisi aspal (VFB), dan rongga dalam campuran (VIM) juga merupakan karakteristik Marshall", (Rahim, Wihardi, & Muhiddin, n.d.). l. Tabel 12 memperlihatkan hasil pengujian rata-rata pada karakteristik Marshall.

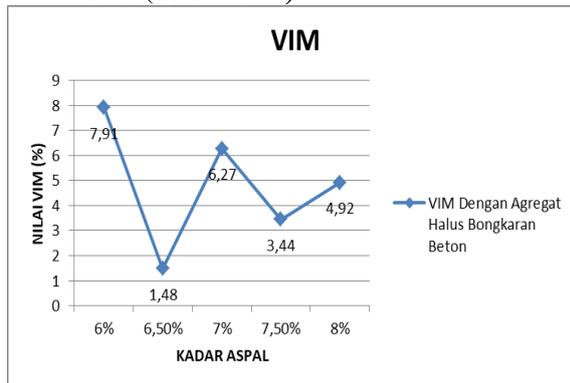
Tabel 12. Hasil pengujian karakteristik Marshall untuk seluruh parameter diambil rata-rata

No	Kadar aspal Minyak	VMA %	VIM %	VFB %	Stabilitas Kg	Flow mm	MQ kg/mm ³
1	6%	19,87	7,91	60,19	2182	3	727
2	6,50%	14,26	1,48	89,62	2913	3	971
3	7%	18,43	6,27	65,97	3538	3	1179
4	7,50%	15,98	3,44	78,48	2703	3,2	845
5	8%	17,26	4,92	71,5	3485	4	871
6	Spesifikasi	>15%	3-5%	>65 %	>800 kg	2-4 mm	min 250

Dari hasil pengujian karakteristik dari tabel tersebut nilai VMA tertinggi terdapat dengan campuran kadar aspal 6% dengan nilai 19,87% dan nilai terendah dengan campuran kadar aspal 7,5% dengan nilai 15,98% dan untuk nilai VIM tertinggi dengan kadar aspal 6% dengan nilai 7,91% dan nilai terendah dengan kadar aspal 6,5% dengan nilai 1,48% dan nilai VFB tertinggi dengan kadar aspal

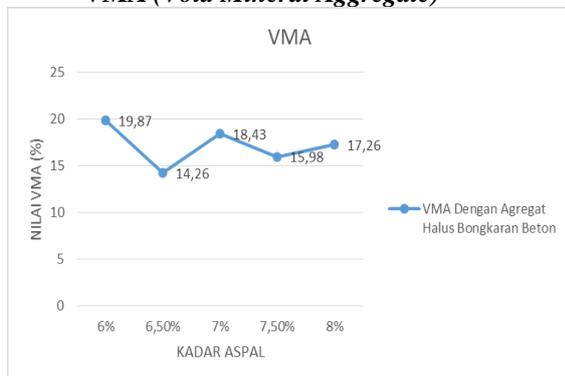
6,5% dengan nilai 89,62% dan nilai terendah dengan kadar aspal 6% dengan nilai 60,19% dan untuk nilai stabilitas nilai tertinggi dengan kadar aspal 7% dengan nilai stabilitas 3538 kg dan untuk nilai terendah stabilitas dengan kadar aspal 6% dengan nilai 2182 kg dan untuk nilai flow tertinggi dengan kadar aspal 8% dengan nilai 4 dan nilai terendah dengan kadar aspal 6%, 6,5%, 7% dengan nilai 3 mm, 3 mm, 3 mm dan untuk nilai MQ nilai tertinggi dengan kadar aspal 7% dengan nilai 1179, dan nilai terendah dengan kadar aspal 6% dengan nilai 727.

3.2 Hubungan Kadar Aspal Minyak dengan VIM (Void in Mix)



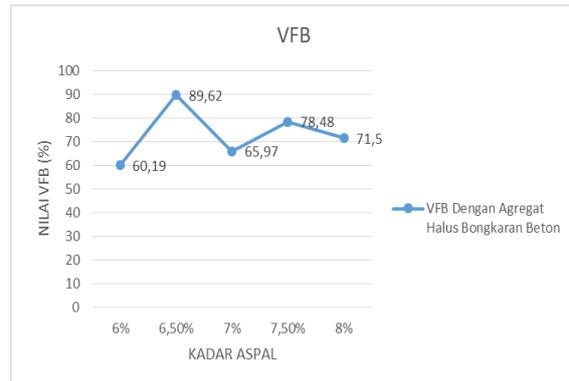
Gambar 1. Hubungan Antara Kadar Aspal Minyak Dengan Nilai VIM

3.3 Hubungan Kadar Aspal Minyak dengan VMA (Void Mineral Aggregate)



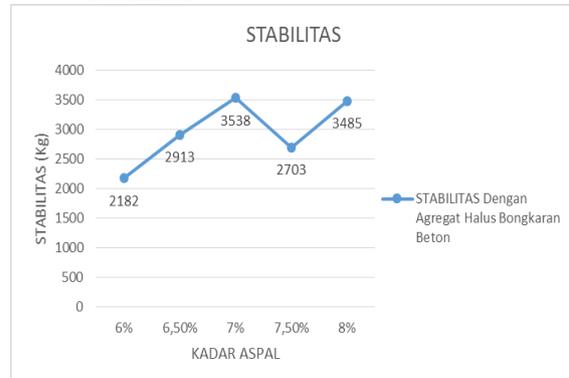
Gambar 2. Hubungan Antara Kadar Aspal Minyak Terhadap Nilai VMA

3.4 Hubungan Kadar Aspal Minyak dengan VFB (Void Filled Bitumen)



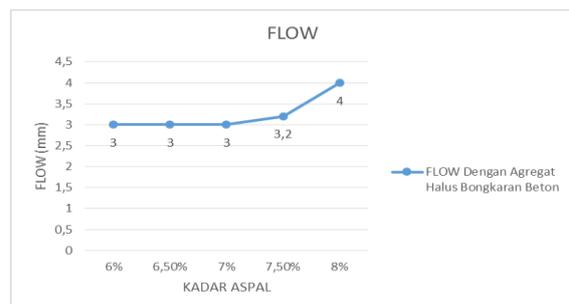
Gambar 3. Hubungan Kandungan Kadar Aspal Minyak Dengan Nilai VFB.

3.5 Hubungan Kadar Aspal Minyak dengan Stabilitas



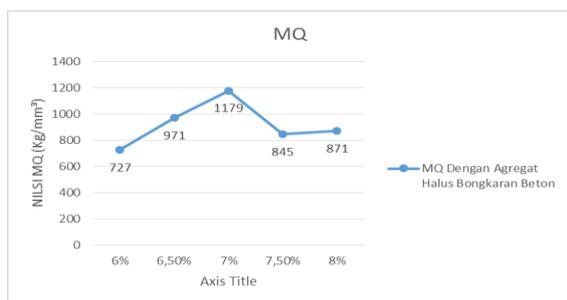
Gambar 4. Hubungan Antara Kadar Aspal Dengan Nilai Stabilitas

3.6 Hubungan Kadar Aspal Minyak dengan FLOW



Gambar 5. Hubungan Antar Kadar Aspal Dengan Nilai Flow

3.7 Hubungan Kadar Aspal Minyak dengan MQ



Gambar 6. Hubungan Kandungan Kadar Aspal Minyak Dengan MQ

3.8 Analisis Penentuan Kadar Aspal Optimum Menggunakan Agregat Halus Limbah Bongkaran Beton

Berdasarkan parameter stabilitas yang terdiri dari stabilitas, flow dan Marshall quotient) dan volumetrik yang terdiri dari VIM, VMA dan VFB, kadar aspal optimum yang dibutuhkan dalam campuran beraspal panas menggunakan agregat halus limbah batubara adalah sebesar 7.5% dan 8%. Analisis penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) campuran aspal panas menggunakan limbah batubara yang mengacu pada Spesifikasi umum 2010, Revisi 3, Divisi 6 tentang perkerasan Aspal dan SNI 06-2489-1991 (Cara Uji Campuran Beraspal Panas dengan Metode Marshall) ditunjukkan pada Tabel

Tabel 13. Analisis Penentuan Aspal Optimuz Campuran Aspal Panas Menggunakan Agregat Halus Limbah Bongkaran Beton

No	Parameter Marshall	Spesifikasi	Kadar Aspal Pen 60/70				
			6	6,5	7	7,5	8
1	VIM (%)	3.5					
2	VMA (%)	15					
3	VFB (%)	65					
4	Stabilitas (kg)	800					
5	FLOW (mm)	2-4					
6	MQ (kg/mm)	250					
7	KAO					7,5	8

4. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian dan pembahasan campuran aspal beton dapat disimpulkan sebagai berikut

1. Nilai rata-rata VIM 6% : **7,91 %** ; 6,5 % : **1,91 %** ; 7 % : **6,27 %** ; 7,5% : **3,44 %** ; 8 % : **4,92%**
2. Nilai rata-rata VMA 6% : **19,87 %** ; 6,5 % : **14,26 %** ; 7 % : **18,43 %** ; 7,5 % : **15,98 %** ; 8% : **17,26%**
3. Nilai rata-rata VFB 6% : **60,19 %** ; 6,5 % : **89,62%** ; 7% : **65,97 %** ; 7,5 % : **78,48 %** ; 8% : **71,5 %**
4. Nilai rata-rata Stabilitas 6% : **2182 kg/mm** ; 6,5% : **2913 kg/mm** ; 7% : **3538 kg/mm** ; 7,5% : **2703 kg/mm** ; 8 % : **3485 kg/mm**
5. Nilai rata-rata Flow 6% : **3** ; 6,5% : **3** ; 7 : **3** ; 7,5% : **3,2** ; 8% : **4**

6. Nilai rata-rata MQ 6% : **727** ; 6,5% : **971** ; 7% : **1179**; 7,5% : **845** ; 8% : **871**

2. Berdasarkan hubungan antara kandungan kadar aspal minyak dan seluruh parameter marshall dan volumetrik menggunakan limbah bongkaran beton maka didapatkan kandungan aspal optimum berada pada kadar 7,5 % dan 8% dari nilai VIM, VMA, VFB, STABILITAS dan MQ.

PUSTAKA

- Ardianti, I. M. (2018). *Analisis Kualitas Campuran Aspal Panas Menggunakan Berbagai Aspal Modifikasi*. 1(4), 1–93.
- Bernard, H., & Sitamorang, S. (2014). Pengaruh penggunaan filler semen portland pada ac-wc halus spesifikasi jalan Bina Marga 2010.
- Candra, A. I., Gardjito, E., Cahyo, Y., & Prasetyo, G. A. (n.d.). *Pemanfaatan Limbah Puntung Rokok Filter Sebagai Bahan Campuran Beton Ringan Berpori*. 1–8.
- Dengan, A. A., & Marshall, P. (2015). *NILAI KARAKTERISTIK CAMPURAN PANAS ASPAL*. 2(1), 41–48.
- Fithra, H. (2017). *PENGARUH JUMLAH TUMBUKAN PADA CAMPURAN ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE (AC-WC) TAMBAHAN LATEKS TERHADAP SIFAT MARSHALL*. *Teras Jurnal*.
- Gunarto, A. (2019). Penelitian Campuran Aspal Beton Dengan Menggunakan Filler Bunga Pinus. *UKaRst*, 3(1), 37. <https://doi.org/10.30737/ukarst.v3i1.351>
- Gunarto, A., & Candra, A. I. (2019). *Menggunakan Filler Bunga Pinus*. 3(1), 45–53.
- McNulty, J. (2013). *PEMANFAATAN LIMBAH BETON SEBAGAI PENGGANTI AGREGAT KASAR PADA CAMPURAN ASPHALT CONCRETE-WEARING COURSE GRADASI KASAR* Arys. 66(1997), 37–39.
- Natalia, M. (2010). *Pengaruh Penggunaan Pasir Sungai Pada Campuran Laston Lapis Aus (AC-WC) Berdasarkan Spesifikasi Kimpraswil 2005 Influence of Usage of River Sand on Laston Wearing Course (AC-WC) Mixture Based On Specification of Kimpraswil 2005*. 5, 116–127.
- Rahim, A., Wihardi, M., & Muhiddin, A. B. (n.d.). *IMPACT OF SEA WATER TOWARDS THE CHARACTERISTIC OF POROUS ASPHALT PAVEMENT USING ASBUTON AS THE BINDING MATERIAL* Alamat korespondensi :
- Setya Budi, A. F., Liem, F. N., & Alokabel, K. (2017). *STUDI KOMPARASI PENGARUH VARIASI PENGGUNAAN NILAI KONSTANTA ASPAL RENCANA TERHADAP NILAI STABILITAS PADA CAMPURAN ASPAL BETON (HRS-WC) TERHADAP KARAKTERISTIK UJI MARSHALL*. *JUTEKS - Jurnal Teknik Sipil*.

- <https://doi.org/10.32511/juteks.v2i1.124>
- Tahir, A. (2009). Karakteristik campuran beton aspal (ACWC) dengan menggunakan variasi kadar filler abu terbang batu bara. *Jurnal SMARTek*, 7(4), 256–278.
<https://doi.org/10.1016/j.gie.2010.04.009>
- Thanaya, I. N. A., Purbanto, I. G. R., Ariawan, I. M. A., & Nugraha, K. K. (2018). Analisis Karakteristik Campuran Latasir dengan Menggunakan Agregat Bekas Bongkaran Beton dan Batu Tabas. *Konferensi Nasional Teknik Sipil 12*.
- Utami, G. S., Rohmania, N., & Sipil, J. T. (n.d.). *KARAKTERISTIK CAMPURAN BETON ASPAL (AC-WC) DENGAN PENAMBAHAN ABU SLAG BAJA SEBAGAI BAHAN PENGANTI FILLER*.