

Variasi Temperatur Pencampuran Terhadap Parameter *Marshall* pada Campuran Lapis Aspal Beton

Sarkis Enda Raya S¹⁾

Priyo Pratomo²⁾

Dwi Herianto³⁾

Abstract

This study was conducted to determine the effect of temperature variations on the mixing process of the asphalt concrete AC-WC (Asphalt Concrete-Wearing Course) subtle gradations in the middle limit and lower limit of the Marshall parameters with reference to specifications of Bina Marga, 2010.

From the results of experiments conducted that the optimum asphalt content is used to middle limit using a asphalt content of 5,7% and 6,8% for the lower limit after that mixing was done using temperature variation of 120°C, 130°C, 140°C, 150°C, and 160°C.

To a mixture of Laston AC-WC subtle gradations middle limit grading 5,7% asphalt content mixing temperature using a temperature of 120°C, 130°C, 140°C, 150°C, 160°C and still meet all standards of marshall parameters. Ideal mixing temperature variations in the middle limit of mixing temperature 150°C-160°C. While the lower limit to the level of 6,8% asphalt content mixing temperatures between 120°C-160°C did not meet the specifications, because the MQ value below the minimum value of 250 kg / mm.

Keywords: Mixing temperature, 2010 Specification, Marshall, Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) Subtle Gradation.

Abstrak

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi suhu pada proses pencampuran terhadap lapis aspal beton AC-WC (*Asphalt Concrete-Wearing Course*) gradasi halus pada batas tengah dan batas bawah terhadap parameter *Marshall* dengan acuan Spesifikasi Bina Marga 2010.

Dari hasil percobaan yang dilakukan bahwa nilai kadar aspal optimum (KAO) yang digunakan adalah untuk batas tengah menggunakan kadar aspal 5,7% dan untuk batas bawah 6,8%, setelah itu dilakukan pencampuran variasi suhu pencampuran dari 120°C, 130°C, 140°C, 150°C, dan 160°C.

Untuk campuran Laston AC-WC gradasi halus batas tengah dengan kadar aspal 5,7% suhu pencampuran dengan menggunakan suhu 120°C, 130°C, 140°C, 150°C dan 160°C masih memenuhi semua standar parameter *marshall*. Variasi suhu pencampuran yang ideal pada batas tengah berada pada suhu pencampuran 150°C-160°C. Sedangkan pada batas bawah dengan kadar aspal 6,8% suhu pencampuran antara 120°C-160°C tidak ada yang memenuhi syarat, dikarenakan nilai MQ di bawah nilai minimum yaitu 250 kg/mm.

Kata kunci : Suhu pencampuran, Spesifikasi 2010, Marshall, *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC) Gradasi Halus

¹⁾ Mahasiswa pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung.

²⁾ Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedung Meneng Bandar Lampung. 35145.

³⁾ Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedung Meneng Bandar Lampung.

1. PENDAHULUAN

Jalan merupakan infrastruktur dasar dan utama dalam menggerakkan roda perekonomian nasional dan daerah, mengingat penting dan strategisnya fungsi jalan untuk mendorong distribusi barang dan jasa sekaligus mobilitas penduduk.

Ketersediaan jalan adalah persyaratan mutlak untuk masuknya investasi ke suatu wilayah. Untuk itu diperlukan perencanaan struktur perkerasan yang kuat dan tahan lama.

Laston memiliki tingkat fleksibilitas yang tinggi sehingga penempatan langsung di atas lapisan seperti lapisan AC-WC (*Asphalt Concrete-Wearing Course*) membuat lapisan ini rentan terhadap kerusakan akibat suhu yang tidak sesuai.

Jenis kerusakan yang sering terjadi pada Laston adalah pelepasan butiran. Di samping hal tersebut kerusakan jalan juga karena terlalu tingginya viskositas aspal keras saat pencampuran dengan agregat akibat tidak berjalannya pengendalian mutu di AMP sehingga temperatur pencampuran aspal dan agregat tidak terkontrol. Kondisi ini menyebabkan campuran beraspal tersebut tidak dapat dihamparkan pada lokasi pembangunan jalan karena suhu campuran tidak sesuai dengan suhu penghamparan dan pemadatan.

Sehingga untuk mengetahui hal tersebut perlu dilakukan penelitian pengaruh variasi perubahan suhu campuran Laston, yaitu AC-WC (*Asphalt Concrete-Wearing Course*). Dengan variasi suhu pencampuran Laston 120°C, 130°C, 140°C, 150°C, dan 160°C.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Suhu/Temperatur

Pemeriksaan sifat kepekaan aspal terhadap perubahan temperatur perlu dilakukan sehingga diperoleh informasi tentang rentang temperatur yang baik untuk pelaksanaan pekerjaan. Temperatur campuran beraspal panas merupakan satu-satunya faktor yang paling penting dalam pemadatan, karena mempengaruhi viskositas aspal yang digunakan. Meningkatkan temperatur pemadatan mengakibatkan partikel agregat dalam campuran beraspal panas dapat dipadatkan lebih baik lagi. Kerapatan (density) pada saat pemadatan terjadi pada suhu lebih tinggi dari 275°F (135°C). Kerapatan menurun dengan cepat ketika pemadatan dilakukan pada suhu lebih rendah (Suparyanto, 2008).

2.2 Lapis Aspal Beton

Lapis aspal beton adalah salah satu jenis perkerasan jalan yang terdiri dari campuran agregat dan aspal, dengan atau tanpa bahan tambahan. Material-material pembentuk dicampur di instalasi pencampur pada suhu tertentu, yang kemudian diangkut ke lokasi pembangunan jalan, dihamparkan, dan dipadatkan. Suhu pencampuran ditentukan berdasarkan jenis aspal yang akan digunakan. Jika digunakan semen aspal, maka suhu pencampuran umumnya antara 145°C-155°C, sehingga disebut beton aspal campuran panas. Campuran ini dikenal pula dengan nama hotmix (Sukirman, 2003).

Berdasarkan fungsinya aspal beton campuran panas dapat diklasifikasikan berikut ini :

a. *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC) adalah lapis permukaan (lapis aus) yang kontak langsung dengan cuaca, gaya geser, dan tekanan rodaserta memberikan lapis kedap air .

b. *Asphalt Concrete-Binder Course* (AC-BC) adalah lapis pengikat antara *Asphalt Concrete-Wearing Course* dengan *Asphalt Concrete-Base*.

c. *Asphalt Concrete-Base* (AC-Base) adalah lapis pondasi, biasanya dipergunakan pada pekerjaan peningkatan atau pemeliharaan jalan.

Ketentuan mengenai sifat-sifat dari campuran Laston (AC) dengan aspal Pen 60/70 dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Ketentuan sifat – sifat campuran laston.

Sifat-sifat Campuran		LASTON					
		AC-WC		AC-BC		AC-Base	
		Halus	Kasar	Halus	Kasar	Halus	Kasar
Kadar Aspal Efektif (%)	Min.	5,1	4,3	4,3	4,0	4,0	3,5
Penyerapan Aspal (%)	Maks.				1,2		
Jumlah Tumbukan per Bidang				75			112
Rongga dalam Campuran (%)	Min.				3,5		
	Maks.				5,0		
Rongga dalam Agregat (%)	Min.	15		14		13	
Rongga Terisi Aspal (%)	Min.	65		63		60	
Stabilitas Marshall (kg)	Min.		800			1800	
Pelelehan (mm)	Min.		3,0			4,5	
Marshall Quotient (kg/mm)	Min.		250			300	
Stabilitas Marshall Sisa setelah Perendaman 24 jam , 60 C (%)	Min.			90			
Rongga dalam Campuran pada Kepadatan Membal (%)	Min.			2,5			

2.3 Bahan Campuran Beraspal

Berikut bahan penyusun konstruksi perkerasan jalan yang digunakan:

2.3.1 Agregat Kasar

Menurut *British Standards* (1992) agregat kasar mempunyai peran sebagai pengembang volume mortar, menjadikan campuran lebih ekonomis, meningkatkan ketahanan mortar terhadap kelelahan (flow) dan meningkatkan stabilitas.

2.3.2 Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat yang lolos saringan No. 8 (2.36 mm) yang terdiri dari batu pecah tersaring atau pasir alam yang bersih, keras dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya dan memenuhi ketentuan. Menurut *British Standards* (1985) fungsinya adalah untuk mendukung stabilitas dan mengurangi deformasi permanen. Stabilitas campuran diperoleh melalui ikatan saling mengunci (*interlocking*) dan pergeseran dari partikel.

2.3.3 Filler

Bahan pengisi (*filler*) merupakan sebagai pengisi rongga udara pada material sehingga memperkaku lapisan aspal. Apabila campuran agregat kasar dan halus masih belum masuk dalam spesifikasi yang telah ditentukan, maka pada campuran Laston perlu ditambah dengan filler. Sebagai filler dapat digunakan debu batu kapur, debu dolomite atau semen Portland Filler yang baik adalah yang tidak tercampur dengan kotoran atau bahan lain yang tidak dikehendaki dan dalam keadaan kering (kadar air maks. 1%).

Tujuan awal filler adalah mengisi rongga dalam campuran VIM, tidak hanya oleh bitumen tetapi material yang lebih murah. Pada kadar aspal konstan, penambahan filler akan memperkecil VIM. Dalam perkembangan selanjutnya, terbukti bahwa filler tidak hanya mengganti fungsi bitumen mengisi rongga, tetapi juga memperkuat campuran (Edward (1988) dalam Suhendra, 2014)

2.3.4 Aspal

Aspal merupakan senyawa hidrokarbon. Struktur molekul aspal sangatlah kompleks yang merupakan koordinasi dari 3 (tiga) jenis struktur dasar molekul hidrokarbon, yaitu alifatik, siklis dan aromatis. Struktur alifatik berbentuk linier, ataupun tiga dimensi. Struktur molekul ini menyebabkan aspal kelihatan seperti minyak ataupun lilin (*wax*). Struktur molekul siklis adalah ikatan/rantai karbon jenuh tiga dimensi yang mampu mengikat beberapa unsur ataupun radikal. Sedangkan struktur molekul ini memberikan bau yang khas pada aspal. Ikatan kimia (*inter molecular bonding*) pada aspal sangatlah mudah terlepas dan aspal akan mencair (Suhwadi dan Suhardjo Poertadji. (2005) dalam Awaludin, 2008). Pada dasarnya aspal terbuat dari suatu rantai hidrokarbon yang disebut bitumen.

3. METODE PENELITIAN

Langkah yang dilakukan dalam penelitian ini dimulai dari persiapan yaitu meliputi studi pendahuluan dan persiapan alat dan bahan yang digunakan. Persiapan bahan (aspal, agregat kasar, agregat halus, *filler* (menggunakan semen)) dengan mendatangkan bahan-bahan yang diperlukan ke laboratorium inti jalan raya Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Pengujian dilakukan untuk melihat kelayakan bahan yang akan dipergunakan yaitu uji agregat meliputi berat jenis agregat kasar, berat jenis agregat halus, analisa saringan, *Aggregate Impact Value (AIV)*, *Aggregate Crushing Value (ACV)*, uji keausan, indeks kepipihan, dan uji aspal meliputi uji penetrasi bitumen, uji titik lembek aspal, uji kehilangan berat minyak bitumen, uji daktilitas serta uji berat jenis bitumen. Setelah dilakukan uji kelayakan bahan maka akan dilakukan pencampuran dan dipadatkan dengan menggunakan jenis campuran AC-WC gradasi halus, setelah itu diuji dengan meninjau parameter *marshall*. Dari pengujian *marshall* tersebut akan diperoleh kadar aspal optimum (KAO) yang akan digunakan sebagai kadar aspal untuk melakukan pencampuran dengan variasi suhu pencampuran.

Benda uji akan dikelompokkan untuk variasi suhu pencampuran yaitu 120°C, 130°C, 140°C, 150°, dan 160°C. Untuk benda uji yang telah dibuat maka akan diuji dengan memperhatikan parameter *marshall*. Hasil penelitian di laboratorium akan diperoleh nilai parameter *Marshall (Stability)*, *Flow*, *Void in Mineral Agregat (VMA)*, *Void in The Mix (VIM)*, *Void Filled with Asphalt (VFA)* dan (*Marshall Quotient*) dari campuran perkerasan AC-WC gradasi halus dengan perbedaan suhu pencampuran.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Material

Pengujian material yang dilakukan meliputi uji aspal dan uji agregat. Aspal yang digunakan dalam penelitian ini adalah aspal Pertamina pen 60/70. Hasil pengujian material yaitu:

Tabel 2. Hasil pengujian aspal Pertamina penetrasi 60/70.

No.	Jenis Pengujian	Untuk Batas Tengah	Untuk Batas Bawah	Persyaratan Pen 60/70	Keterangan
1.	Penetrasi 25°C, 5 detik (0,1 mm)	64,5	64,83	60-70	Memenuhi
2.	Titik Lembek (°C)	56	52	≥48	Memenuhi
3.	Daktilitas 25°C (cm)	>100	>100	>100	Memenuhi
4.	Berat Jenis (gr/cm ³)	1,0317	1,0110	≥1,0	Memenuhi
5.	Kehilangan Berat 163°C (%)	0,2134	0,4120	Maks. 0,8	Memenuhi

Tabel 3. Hasil pengujian agregat kasar.

No.	Karakteristik	Untuk Batas Tengah	Untuk Batas Bawah	Spesifikasi	Keterangan
1.	BJ curah (<i>bulk</i>)	2,6607gr/cm ³	2,6513 gr/cm ³	Min. 2,5	Memenuhi
2.	BJ SSD	2,6649gr/cm ³	2,6518 gr/cm ³	-	Memenuhi
3.	BJ semu (<i>apparent</i>)	2,6718gr/cm ³	2,6528 gr/cm ³	-	Memenuhi
4.	Penyerapan air	0,156%	0,022%	Maks. 3%	Memenuhi
5.	Los angeles test	11,54%	11,346%	Maks. 40 %	Memenuhi

Tabel 4. Hasil pengujian agregat halus.

No.	Karakteristik	Untuk Batas Tengah	Untuk Batas Bawah	Spesifikasi	Keterangan
1.	BJ curah (<i>bulk</i>)	2,5355gr/cm ³	2,5643gr/cm ³	Min. 2,5 gr/cc	Memenuhi
2.	BJ SSD	2,6226gr/cm ³	2,6151gr/cm ³	-	Memenuhi
3.	BJ semu (<i>apparent</i>)	2,7774gr/cm ³	2,7014gr/cm ³	-	Memenuhi
4.	Penyerapan air	2,4340%	1,9784%	Maks. 5%	Memenuhi

Tabel 5. Hasil pengujian *filler*.

Jenis <i>Filler</i>	Pengujian	Standar	Spesifikasi	Hasil	Keterangan
Semen	Berat Jenis	AASHTO T 85-81		-	Memenuhi
Portland	Lolo saringan No.200	SNI-03-1968-1990	Min.75 %	100 %	Memenuhi

Dari tabel di atas menunjukkan bahwa aspal dan agregat yang diuji memasuki spesifikasi kelayakan untuk dijadikan sebagai bahan pembuatan benda uji dalam penelitian ini.

4.2 Desain Campuran Aspal

Gradasi argegat campuran yang digunakan dalam penelitian ini adalah Lapis Aspal Beton AC-WC gradasi halus dengan gradasi batas tengah dan gradasi batas bawah yang mengacu pada spesifikasi teknis Bina Marga 2010. Persentase agregat untuk campuran AC-WC dapat dilihat pada Tabel 5 berikut ini:

Tabel 6. Persentase agregat campuran.

Saringan	Diameter	Batas Tengah		Batas Bawah	
		% Lolos	%Tertahan	% Lolos	%Tertahan
3/4"	19	100		100	
1/2"	12,5	95	5	90	10
3/8"	9,5	81	14	72	18
No.4	4,75	61,5	19,5	54	18
No.8	2,36	46,05	15,45	39,1	14,9
No.16	1,18	35,8	10,25	31,6	7,5
No.30	0,6	25,55	10,25	23,1	8,5
No.50	0,3	18,75	6,8	15,5	7,6
No.100	0,15	12	6,75	9	6,5
No.200	0,075	7	5	4	5
PAN		0	7	0	4

Setelah diperoleh gradasi lolos saringan maka di tentukan perhitungan kadar aspal rencana.

Perhitungan kadar aspal Rencana (Pb) batas tengah :

$$\begin{aligned} \text{Pb} &= 0,035(\%CA) + 0,045(\%FA) + 0,18(\%FF) + K \\ \text{Pb} &= 0,035(53,95) + 0,045(39,05) + 0,18(7) + 0,75 \\ &= 5,66\% \approx \mathbf{5,5\%} \end{aligned}$$

Perhitungan kadar aspal rencana (Pb) batas bawah

$$\begin{aligned} \text{Pb} &= 0,035(\%CA) + 0,045(\%FA) + 0,18(\%FF) + K \\ \text{Pb} &= 0,035(60,90) + 0,045(35,10) + 0,18(4) + 0,75 \\ &= 5,18\% \approx \mathbf{5,0\%} \end{aligned}$$

Berdasarkan nilai perkiraan kadar aspal rencana dan berat jenis teori maksimum yang telah diperoleh dari perhitungan sebelumnya, kemudian dilakukan perhitungan proporsi berat agregat yang lolos saringan sesuai dengan diameter agregat serta berat aspal yang diperlukan untuk sebuah benda uji. Sebelum itu perlu dilakukan perhitungan volume benda uji sebagai berikut:

$$\text{Volume benda uji (V)} = 1/4 \times \pi \times d^2 \times t$$

$$\text{Dimana: } d = 10,16 \text{ cm}$$

$$t = 6,35 \text{ cm}$$

$$\text{void (3,5-5)} = 100\% - \text{void} = 100\% - 4\% = 96\% = 0,96$$

$$\text{Volume benda uji (V)} = 1/4 \times \pi \times (10,16)^2 \times 6,35 = 514,8148 \text{ cm}^3$$

Berikut ini adalah contoh perhitungan pada benda uji untuk batas tengah untuk kadar aspal 4,5 % dengan berat jenis teori maksimum 2,4884 gr/cm³ yang akan diperoleh:

$$\begin{aligned} \text{Berat total sampel} &= V \times \text{berat jenis teori maksimum} \times \text{void} \\ &= 514,8148 \text{ cm}^3 \times 2,4884 \text{ gr/cm}^3 \times 0,96 = 1229,8 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat aspal} &= \text{berat sampel} \times \text{kadar aspal} \\ &= 1229,8 \text{ gram} \times 4,5\% = 55,3 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat agregat} &= \text{berat total sampel} - \text{berat aspal} \\ &= 1229,8 \text{ gram} - 55,3 \text{ gram} = 1174,5 \text{ gram} \end{aligned}$$

Setelah dihitung maka diperoleh berat total benda uji yang dibuat dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 7. Berat masing-masing agregat untuk batas tengah.

Saringan	% Lolos % Tertahan		Kadar Aspal (%)					Total Agregat
			4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	
19	100	0	0	0	0	0	0	0
12,5	95,00	5,00	58,7	58,0	57,3	56,6	55,9	286,4
9,5	81,00	14,00	164,4	162,4	160,4	158,4	156,4	801,9
4,75	61,50	19,50	229,0	226,2	223,3	220,6	217,8	1117,0
2,36	46,05	15,45	181,5	179,2	177,0	174,8	172,6	885,0
1,18	35,80	10,25	120,4	118,9	117,4	115,9	114,5	587,1
0,6	25,55	10,25	120,4	118,9	117,4	115,9	114,5	587,1
0,3	18,75	6,80	79,9	78,9	77,9	76,9	76,0	389,5
0,15	12,00	6,75	79,3	78,3	77,3	76,4	75,4	386,6
0,075	7,00	5,00	58,7	58,0	57,3	56,6	55,9	286,4
Pan	0	7	82,2	81,2	80,2	79,2	78,2	401,0
Berat Total Agregat (gr)			1174,5	1159,8	1145,4	1131,1	1117,1	5728,0
Berat Aspal (gr)			55,3	61,0	66,7	72,2	77,7	332,9
Berat Total Benda Uji (gr)			1229,8	1220,9	1212,0	1203,3	1194,8	6060,9
BJ Teori Max			2,4884	2,4703	2,4524	2,4348	2,4175	-

Tabel 8. Berat masing-masing agregat untuk batas bawah.

Saringan	% Lolos % Tertahan		Kadar Aspal (%)					Total Agregat
			4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	
19	100	0	0	0	0	0	0	0
12,5	90	10	117,4	116,0	114,5	113,1	111,7	572,8
9,5	72	18	211,4	208,8	206,2	203,6	201,1	1031,0
4,75	54	18	211,4	208,8	206,2	203,6	201,1	1031,0
2,36	39	15	175,0	172,8	170,7	168,5	166,4	853,5
1,18	32	8	88,1	87,0	85,9	84,8	83,8	429,6
0,6	23	9	99,8	98,6	97,4	96,1	95,0	486,9
0,3	16	8	89,3	88,1	87,0	86,0	84,9	435,3
0,15	9	7	76,3	75,4	74,4	73,5	72,6	372,3
0,075	4	5	58,7	58,0	57,3	56,6	55,9	286,4
Pan	0	4	47,0	46,4	45,8	45,2	44,7	229,1
Berat Total Agregat (gr)			1202,4	1186,9	1171,5	1156,4	1141,6	5728,0
Berat Aspal (gr)			50,1	55,9	61,7	67,3	72,9	307,9
Berat Total Benda Uji (gr)			1252,5	1242,8	1233,2	1223,7	1214,4	6166,6
BJ Teori Max			2,5344	2,5146	2,4952	2,4761	2,4572	-

Setelah diperoleh jumlah agregat dan aspal yang dibutuhkan untuk membuat benda uji maka dilakukan pencampuran dan pemadatan dengan suhu dan parameter standar. Setelah benda uji selesai dibuat maka dilakukan uji marshall dan mengamati setiap parameter marshall. Berikut adalah hasil pengujian pada batas tengah dan batas bawah

Tabel 9. Hasil pengujian sampel pada batas tengah.

Kadar aspal	Stabilitas	VMA	VIM	VFA	Flow	MQ
4,5	1865,55	17,46	8,36	52,14	3,70	504,203
	1375,63	18,55	9,56	48,44	4,70	292,686
	1521,34	18,88	9,94	47,37	2,20	691,520
Rata-rata	1587,51	18,30	9,29	49,31	3,53	496,136
	1551,45	17,19	6,90	59,88	3,30	470,138
	1789,14	17,36	7,09	59,17	3,20	559,106
5	1783,23	17,26	6,97	59,60	2,90	614,907
	1707,94	17,27	6,99	59,55	3,13	548,050
	1229,21	15,49	3,79	75,54	4,80	256,086
5,5	1478,95	15,54	3,84	75,26	4,20	352,131
	1458,37	15,38	3,67	76,16	3,90	373,942
	1388,85	15,47	3,77	75,65	4,30	327,386
Rata-rata	1331,97	16,98	4,98	70,68	3,90	341,530
	1442,50	16,02	3,19	80,09	3,50	412,142
	1529,04	16,58	3,83	76,90	3,50	436,868
6	1434,50	16,53	4,00	75,89	3,63	396,847
	1362,85	15,97	1,91	88,04	3,00	454,284
	1408,45	16,43	2,45	85,08	4,00	352,113
6,5	1477,25	17,19	3,34	80,59	4,50	328,277
	1416,18	16,530	2,566	84,571	3,83	378,225

Tabel 10. Hasil pengujian sampel pada batas bawah.

Kadar aspal	Stabilitas	VMA	VIM	VFA	Flow	MQ
	781,91	18,67	11,98	35,82	5,9	132,53
4,0	647,78	18,61	11,92	35,95	6,3	102,82
	819,31	18,02	11,28	37,40	4,3	190,54
Rata-rata	749,67	18,43	11,73	36,39	5,50	141,96
	1,003,14	18,14	10,25	43,51	4,3	233,29
4,5	820,70	18,39	10,53	42,77	4,9	167,49
	868,81	18,18	10,29	43,39	5,0	173,76
Rata-rata	897,55	18,24	10,35	43,22	4,73	191,51
	1,027,87	18,59	9,58	48,49	4,4	233,61
5,0	1,013,76	18,27	9,22	49,55	3,8	266,78
	994,76	18,27	9,22	49,55	3,9	255,07
Rata-rata	1,012,13	18,38	9,34	49,20	4,03	251,82
	944,02	17,90	8,32	53,49	3,2	295,01
5,5	1,033,82	18,15	7,90	56,48	3,5	295,38
	1,110,77	18,00	7,73	57,07	4,5	246,84
Rata-rata	1,029,54	18,02	7,98	55,68	3,73	279,07
	1,152,28	18,05	6,58	63,53	3,4	338,91
6,0	1,009,79	18,19	6,74	62,93	3,4	297,00
	878,08	17,88	6,39	64,28	3,3	266,09
Rata-rata	1,013,39	18,04	6,57	63,58	3,37	300,66

Dari hasil yang diperoleh maka diperoleh kadar aspal optimum untuk batas tengah adalah 5,7 dan untuk batas bawah tidak diperoleh kadar aspal optimum. Sehingga dilakukan penambahan kadar aspal pada batas bawah.

Tabel 11. Hasil pengujian sampel pada batas bawah dengan penambahan kadar aspal.

Kadar aspal	Stabilitas	VMA	VIM	VFA	Flow	MQ
	1,029,11	17,59	5,56	68,41	3,6	285,86
6,5	983,41	17,47	4,70	73,10	3,8	258,79
	905,90	17,38	4,60	73,54	3,2	283,09
Rata-rata	972,80	17,48	4,95	71,68	3,53	275,92
	950,54	17,67	3,70	79,07	3,2	297,04
7,0	1,294,84	17,74	3,78	78,69	4,3	301,12
	960,05	17,88	3,95	77,92	3,8	252,65
Rata-rata	1,068,48	17,77	3,81	78,56	3,77	283,60

Setelah dilakukan penambahan maka kadar aspal yang diambil 6,8% yang akan digunakan untuk variasi suhu pencampuran untuk melanjutkan penelitian ini.

4.3 Pembahasan Penelitian

Setelah dilakukan variasi suhu pencampuran pada batas tengah dan batas bawah diperoleh parameter marshall seperti berikut:

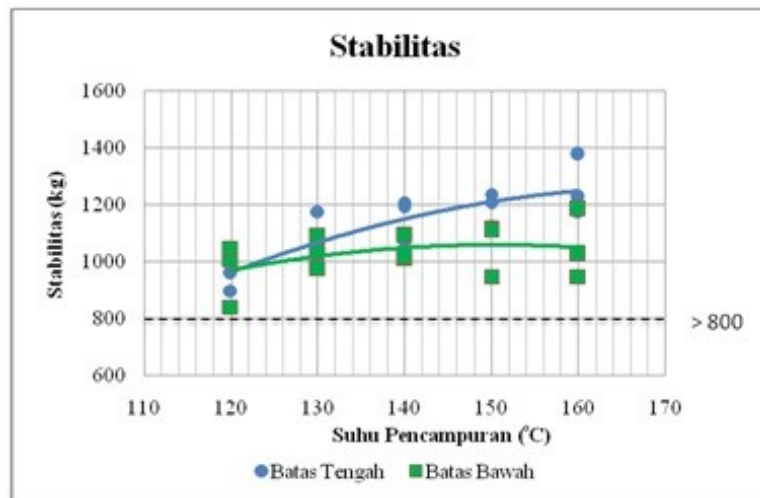
Tabel 12. Hasil pengujian sampel kadar aspal optimum batas tengah.

Variasi Temperatur (°C)	Stabilitas (kg)	VMA (%)	VIM (%)	VFA (%)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)
160	1378,969	15,68	3,521	77,54	4,40	313,402
	1229,680	15,86	3,721	76,53	3,50	351,337
	1178,143	16,07	3,965	75,32	3,80	310,038
Rata-rata	1262,264	15,87	3,7357	76,47	3,90	324,926
150	1237,255	16,44	4,385	73,32	3,30	374,926
	1122,272	16,05	3,943	75,43	4,10	273,725
	1207,929	16,10	3,999	75,16	3,50	345,123
Rata-rata	1189,152	16,19	4,1088	74,64	3,63	331,258
140	1193,707	15,77	3,628	77,00	4,20	284,216
	1208,899	16,54	4,501	72,78	3,70	326,729
	1068,772	16,34	4,274	73,84	3,20	333,991
Rata-rata	1157,126	16,22	4,1343	74,54	3,70	314,979
130	1015,781	16,99	5,019	70,46	3,80	267,311
	1064,912	16,62	4,600	72,33	3,50	304,261
	1176,850	16,20	4,116	74,60	4,00	294,212
Rata-rata	1085,848	16,60	4,5782	72,46	3,77	288,595
120	898,270	16,53	4,489	72,84	3,30	272,203
	1000,736	16,69	4,679	71,97	4,10	244,082
	960,615	16,72	4,713	71,82	3,80	252,793
Rata-rata	953,207	16,65	4,6268	72,21	3,73	256,359

Tabel 13. Hasil pengujian sampel kadar aspal optimum batas bawah.

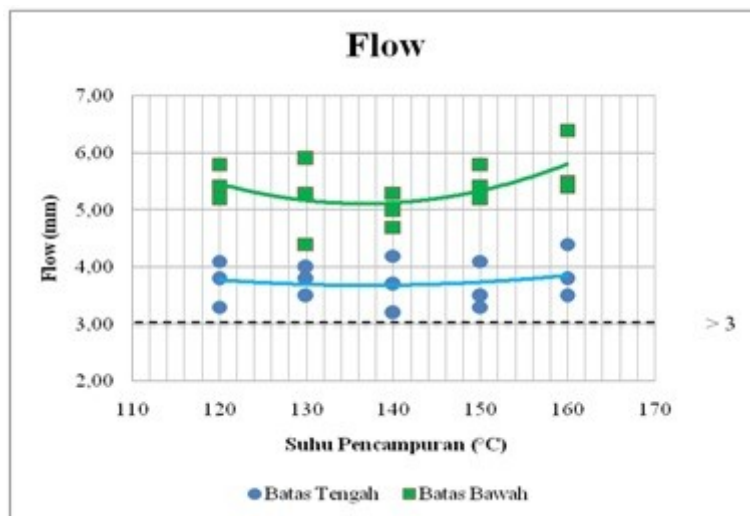
Variasi Temperatur (°C)	Stabilitas (kg)	VMA (%)	VIM (%)	VFA (%)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)
160	1028,50	19,25	6,03	68,67	5,50	187,00
	948,41	18,66	5,34	71,37	5,40	175,63
	1186,86	17,91	4,48	75,01	6,40	185,45
Rata-rata	1054,59	18,61	5,28	71,68	5,77	182,69
150	1114,86	20,50	7,49	63,48	5,40	206,46
	948,59	18,30	4,92	73,09	5,80	163,55
	1111,98	18,83	5,54	70,57	5,20	213,84
Rata-rata	1058,48	19,21	5,98	69,05	5,47	194,62
140	1094,03	19,23	5,71	70,33	4,70	232,77
	1010,59	18,15	4,44	75,52	5,00	202,12
	1019,87	19,51	6,03	69,09	5,30	192,43
Rata-rata	1041,50	18,96	5,39	71,65	5,00	209,11
130	1090,74	18,48	5,14	72,21	5,90	184,87
	976,45	19,28	6,07	68,53	4,40	221,92
	1038,11	19,18	5,94	69,00	5,30	195,87
Rata-rata	1035,10	18,98	5,72	69,92	5,20	200,89
120	1010,00	19,41	6,22	67,97	5,40	187,04
	1048,29	19,20	5,97	68,90	5,80	180,74
	841,07	19,10	5,86	69,33	5,20	161,74
Rata-rata	966,45	19,24	6,02	68,73	5,47	176,51

Dari nilai dalam tabel diatas dapat dilihat bentuk grafiknya sebagai berikut:



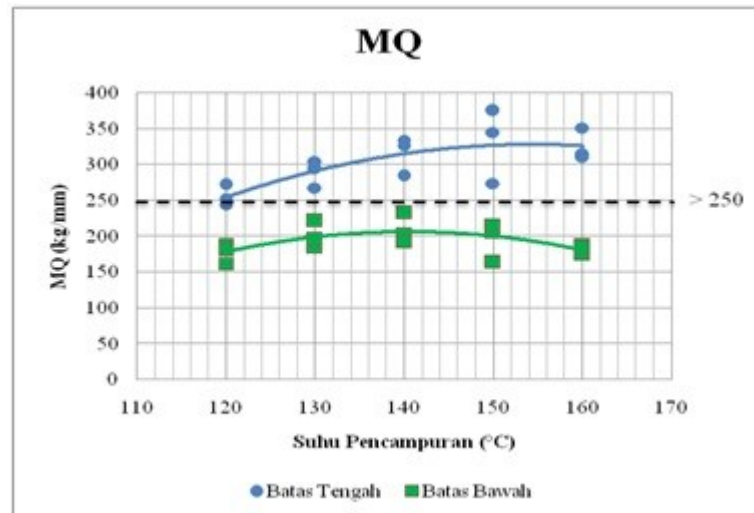
Gambar 1. Grafik hubungan antara suhu pencampuran dengan stabilitas.

Suhu pencampuran pada batas bawah antara 120°C-160°C memiliki nilai stabilitas lebih kecil dibandingkan batas tengah, hal ini disebabkan kadar aspal pada batas bawah lebih besar dibandingkan kadar aspal pada batas tengah. Dimana seiring bertambahnya kadar aspal maka nilai stabilitas akan menurun, karena aspal yang menyelimuti agregat terlalu banyak.



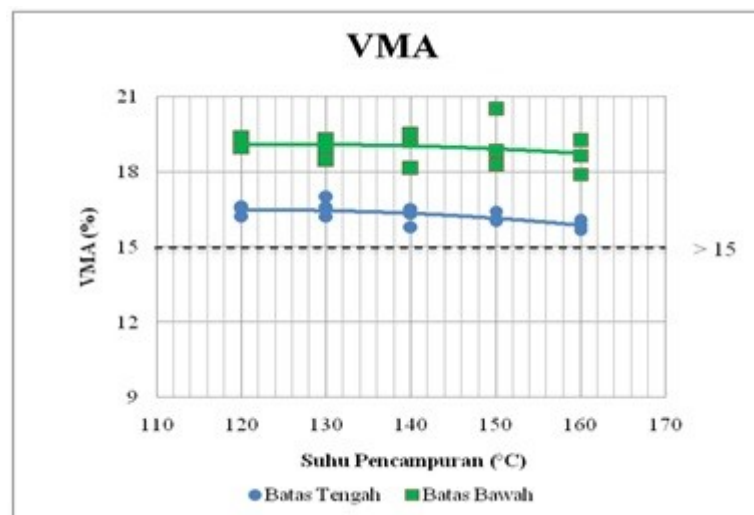
Gambar 2. Grafik hubungan antara suhu pencampuran dengan *flow*.

Suhu pencampuran (antara 120°C-160°C) dapat mempengaruhi nilai *flow*, dimana campuran pada suhu yang lebih tinggi menyebabkan kelelahan lebih besar karena aspal tercampur lebih merata menyelimuti agregat dalam campuran. Pada penelitian ini nilai *flow* pada batas tengah lebih kecil dibandingkan batas bawah, hal ini dikarenakan kadar aspal pada batas bawah lebih besar dibandingkan batas tengah. Dimana kadar aspal yang tinggi menyebabkan campuran lebih elastis dan kelelahan pada campuran akan bertambah panjang, dan untuk kadar aspal yang lebih kecil akan cenderung bersifat plastis.



Gambar 3. Grafik hubungan antara suhu pencampuran dengan MQ.

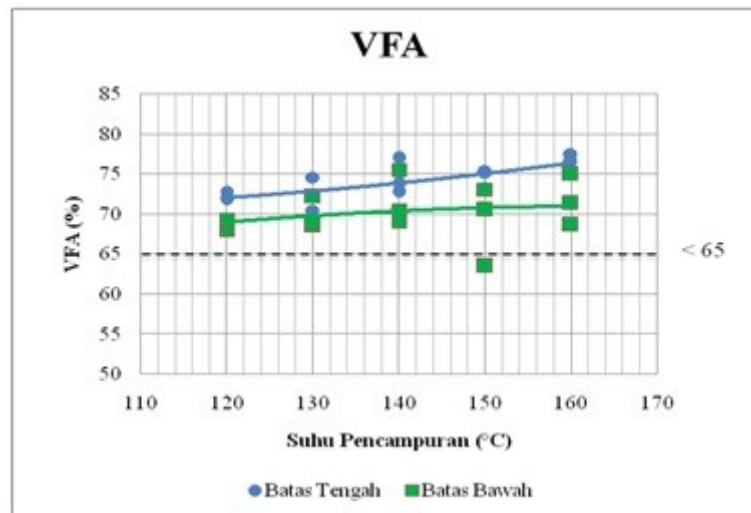
Nilai *Marshall Quotient* (MQ) ini dipengaruhi oleh nilai stabilitas dan kelelahan (*flow*), dimana nilai MQ ini hasil dari hasil bagi dari nilai stabilitas dan nilai *flow*. Maka dari itu nilai MQ dapat dilihat dari hasil pengujian nilai stabilitas dan *flow* pada batas tengah dan bawah. Pada batas tengah nilai MQ ini masuk standar spesifikasi dikarenakan menggunakan kadar aspal optimum yaitu sebesar 5,7%, sedangkan pada batas bawah menggunakan penambahan kadar aspal yaitu sebesar 6,8%. Sehingga penggunaan kadar aspal optimum yang lebih besar mempengaruhi nilai MQ yang semakin rendah, dan begitu juga sebaliknya untuk penggunaan kadar aspal optimum yang lebih kecil.



Gambar 4. Grafik hubungan antara suhu pencampuran dengan VMA.

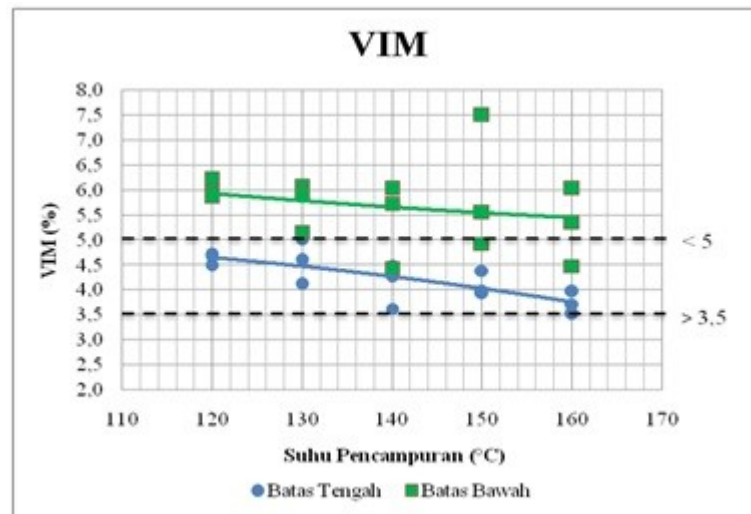
Nilai VMA batas bawah pada suhu pencampuran antara 120°C-160°C lebih besar dibandingkan batas tengah, hal ini disebabkan kadar aspal optimum pada batas bawah lebih besar dibandingkan kadar aspal pada batas tengah. Dimana dengan lebih besar

kadar aspal optimum, maka nilai VMA campuran semakin tinggi dikarenakan aspal yang lebih banyak akan lebih mudah menyelimuti agregat. Perbedaan suhu pencampuran memiliki pengaruh terhadap nilai VMA, dengan suhu pencampuran yang lebih tinggi maka nilai VMA akan semakin kecil, dalam Grafik 4 nilai VMA cenderung menurun seiring bertambahnya suhu pencampuran. Hal ini disebabkan aspal pada suhu lebih tinggi akan menjadi lebih cair sehingga aspal akan lebih mudah masuk ke rongga-rongga agregat. Dan apabila suhu pencampuran rendah maka aspal akan lebih susah memasuki rongga agregat karena aspal belum terlalu cair yang mengakibatkan rongga-rongga dalam agregat akan lebih banyak.



Gambar 5. Grafik hubungan antara suhu pencampuran dengan VFA.

Nilai VFA dapat dipengaruhi oleh suhu pencampuran aspal, dimana dengan meningkatnya suhu pencampuran maka nilai VFA akan meningkat. Suhu pencampuran yang tinggi akan mengurangi rongga udara sehingga aspal yang mengisi rongga antar agregat semakin besar. Campuran yang memiliki nilai VFA yang terlalu tinggi akan sangat rentan mengalami bleeding saat diberikan beban. Begitu juga untuk nilai VFA yang terlalu kecil akan lebih mudah mengalami retakan yang dapat mempengaruhi nilai stabilitas, hal ini dikarenakan agregat yang tercampur dengan aspal tidak rata.



Gambar 6. Grafik hubungan antara suhu pencampuran dengan VIM.

Nilai VIM dapat dipengaruhi oleh suhu pencampuran, dimana suhu pencampuran yang bertambah tinggi akan menyebabkan nilai VIM menurun. Hal ini dikarenakan aspal yang lebih panas akan lebih cair dan akan lebih mudah menyelimuti agregat pada saat campuran dicetak dalam mold. Nilai VIM yang lebih besar dari ketentuan dapat mengakibatkan retakan ketika diberi beban, karena rongga yang terlalu besar dalam campuran tidak sanggup ditutupi aspal ketika menerima beban. Sedangkan Nilai VIM yang terlalu rendah akan rentan terjadinya bleeding karena aspal tidak mendapatkan tempat yang cukup pada campuran ketika menerima beban sehingga aspal akan terdesak keluar permukaan.

5. SIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Untuk batas bawah adanya penambahan kadar aspal yang bertujuan untuk mendapatkan kadar aspal optimum yang akan digunakan, hasil penambahan kadar aspal yang dilakukan mendapatkan kadar aspal optimum sebesar 6,8%.
2. Suhu pencampuran yang ideal pada percobaan batas tengah berada pada suhu 150°C-160°C dengan kadar aspal 5,7%.
3. Variasi suhu pencampuran pada campuran laston AC-WC gradasi halus batas bawah dengan kadar aspal 6,8% tidak mendapatkan hasil yang maksimal. Dimana suhu pencampuran antara 120°C-160°C tidak ada yang memenuhi parameter *marshall* yang disyarat spesifikasi Bina Marga 2010.
4. Nilai MQ yang tidak sesuai standar pada batas bawah setiap suhu pencampuran bisa disebabkan karena nilai *flow* pada campuran batas bawah yang diperoleh terlalu tinggi, dan untuk nilai VIM pada suhu pencampuran 120°-150°C yang tidak sesuai bisa disebabkan oleh pada saat pemadatan benda uji kurang padat sehingga VIM yang diperoleh terlalu tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Awaludin, Johan, 2008, *Studi Komparasi Campuran Laston AC–WC dengan Bahan Pengikat Aspal Shell 60/70 dan Aspal Pertamina 60/70 dengan Cara Prd (Percentage Refusal Density)*, Skripsi, Universitas Dipenegoro, Semarang.
- British Standards, 1985, *Specification for Rolled Asphalt (Hot Process) for Road and Other Paved Areas*, British Standards Institution, London.
- British Standards, 1992, *Hot Rolled Asphalt for Roads and Other Paved Area Part 1; Specification for Constituent Materials and Asphalt Mixtures*, British Standards Institution, London.
- Suhendra, D., 2014, *Pengaruh Variasi Temperatur pada Proses Pencampuran Terhadap Campuran Aspal Panas (Asphalt Hotmix)*, Skripsi, Universitas Lampung, Lampung.
- Sukirman, S., 2003, *Perkerasan Lentur Jalan Raya*, Nova, Bandung.
- Suparyanto, 2008, *Pengaruh Penggunaan Aspal Pertamina AC 60/70 dan Aspal Shell AC 60/70 Terhadap Deformasi Permanen Campuran Beton Aspal (Spesifikasi Bina Marga 2007) Dikaitkan Dengan Temperatur Pemadatan Menggunakan Alat Uji Wheel Tracking*, Tesis, Univeritas Gajah Mada, Yogyakarta.