

**KARAKTERISTIK MARSHALL AKIBAT JUMLAH TUMBUKAN PEMADATAN PADA
CAMPURAN ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE MENGGUNAKAN
ASPAL MURNI DAN ASPAL MODIFIKASI LLDPE**
*Marshall Characteristics Due to Number of Compaction Blow for
Asphalt Concrete Wearing Course using Pure Asphalt and LLDPE Modified Asphalt*

Adelia Okta Shavira*, Desi Widianty**

***Alumni Jurusan Teknik Sipil Universitas Mataram, Jl Majapahit 62 Mataram**

****Jurusan Teknik Sipil Universitas Mataram, Jl Majapahit 62 Mataram**

Email : adeliaoktashavira@yahoo.com, widiantydesi@unram.ac.id

Abstrak

Salah satu faktor yang mempengaruhi kinerja beton aspal (AC-WC) adalah pemadatan. Pada spesifikasi bina marga 2018 ditetapkan jumlah tumbukan untuk kondisi lalu lintas berat pada campuran AC-WC yaitu 75 kali tumbukan. Pemadatan kurang dari ketentuan maka akan menyebabkan tingkat keawetan perkerasan yang buruk karena banyaknya rongga yang tersisa, sedangkan jika pemadatan dilakukan lebih dari ketentuan menyebabkan tidak ada rongga dalam campuran sehingga terjadi *bleeding*. Pengaruh dari variasi jumlah tumbukan terhadap campuran AC-WC murni dan AC-WC modifikasi LLDPE dilakukan dengan pemeriksaan sifat volumetrik dan sifat mekanis campuran. Nilai Indeks Kekuatan Sisa campuran dari masing-masing variasi tumbukan dianalisa berdasarkan hasil marshall standard dan marshall immersion. Hubungan antara variasi jumlah tumbukan dengan nilai IKS didapatkan persamaan untuk menghitung jumlah tumbukan optimum. Hasil pemeriksaan sifat volumetrik dan mekanis campuran AC-WC dengan menggunakan aspal murni dan aspal modifikasi LLDPE jumlah tumbukan yang memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 adalah 75 kali, 80 kali dan 85 kali. Dari hasil nilai indeks kekuatan sisa menunjukkan bahwa nilai indeks kekuatan sisa optimum pada campuran AC-WC menggunakan aspal murni dengan nilai 98.76% terjadi pada jumlah tumbukan 76 kali sedangkan nilai indeks kekuatan sisa optimum pada campuran AC-WC dengan aspal modifikasi LLDPE dengan nilai 97.83% terjadi pada jumlah tumbukan 78 kali.

Kata Kunci : AC-WC, LLDPE, Tumbukan, Indeks Kekuatan Sisa.

PENDAHULUAN

Penggunaan berbagai jenis bahan tambah pada campuran aspal beton (AC-WC) telah banyak dilakukan untuk meningkatkan kualitas campuran beraspal. Salah satu fungsi dari *asphalt concrete wearing course* adalah sebagai lapisan penutup (kedap air) mencegah masuknya air kedalam campuran aspal yang dapat merusak struktur aspal.

Pada spesifikasi bina marga 2018 telah ditentukan jumlah tumbukan untuk kondisi lalu lintas berat pada campuran AC-WC yaitu 75 kali tumbukan. Pemadatan kurang dari ketentuan maka akan menyebabkan tingkat keawetan perkerasan yang buruk karena banyaknya rongga yang tersisa semakin menyebabkan tidak ada ruang antar rongga sehingga terjadi *bleeding*.

Firmansyah (2019) menyatakan pemakaian LLDPE menurunkan penetrasi dan meningkatkan titik lembek. Salah satu bahan tambah yang dapat digunakan dalam campuran AC-WC adalah polimer yang mengandung LLDPE. Penambahan LLDPE meningkatkan stabilitas. Peningkatan stabilitas disebabkan oleh karakteristik LLDPE yaitu dapat mengeraskan aspal, semakin keras suatu aspal, maka kemampuannya menanggung beban dalam suatu campuran akan semakin bertambah. Penambahan 1,5% LLDPE meningkatkan nilai *flow* yang menyebabkan campuran bersifat plastis.

Dari uraian tersebut, maka dilakukan penelitian untuk mengetahui variasi tumbukan dengan mengambil batas bawah dari standar yang sudah ditentukan yaitu 70 kali tumbukan dan mengambil batas atas yaitu 80 kali dan 85 kali tumbukan dan mencoba menggunakan plastik yang mengandung LLDPE sebagai bahan tambahan pada campuran AC-WC.

TINJAUAN PUSTAKA

Firmansyah (2019) yang meneliti tentang hasil pengaruh penggunaan plastik LLDPE (*Low Linear Density Polyethylene*) terhadap kinerja campuran *asphalt concrete wearing course*. Dalam penelitiannya menggunakan kadar plastik 1%, 1.5%, 2% dan 2.5%. Pemadatan pada penelitian ini menggunakan alat *Gyratory Compactor*, alat ini menggunakan sistem hidrolis yang dapat diatur tekanannya dan tersambung dengan computer. Hasil dari perhitungan indeks kekuatan sisa diperoleh kadar optimum LLDPE sebesar 1.5% menghasilkan kinerja campuran yang paling optimum.

Pratomo, dkk (2015) yang meneliti tentang kepadatan campuran dengan variasi tumbukan terhadap AC-WC gradasi halus, pada penelitian ini digunakan kadar aspal optimum 6.8% dan variasi tumbukan 2x50, 2x60, 2x65, 2x70, 2x75, 2x80 dan 2x85. Pada laston AC-WC gradasi halus yang jumlah tumbukan yang memenuhi parameter marshall sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 yaitu tumbukan 2x75, 2x80 dan 2x85.

Syahputra (2018) yang meneliti tentang variasi jumlah tumbukan terhadap karakteristik AC-WC gradasi kasar dengan suhu ideal pencampuran. Pencampuran dilakukan dengan variasi tumbukan 2x55, 2x65, 2x75, 2x85 dan 2x95 dengan kadar aspal optimum 6.75%. Jumlah tumbukan yang memenuhi semua standar Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 yaitu 2x75.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Laboratorium Transportasi dan Rekayasa Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram. Tahap awal dimulai dari persiapan alat dan bahan yang akan digunakan. Alat yang digunakan yaitu alat pemeriksaan agregat (set saringan standar, piknometer, timbangan, oven, bak perendam, alat impact untuk keausan), alat pemeriksaan aspal dan alat uji Marshall. Bahan menggunakan aspal penetrasi 60/70, agregat kasar, halus dan *filler* dari PT. Kresna Karya, Pringgabaya, Lombok Timur, serta plastik LLDPE. Uji pendahuluan dilakukan terhadap bahan yang digunakan yaitu aspal pen. 60/70, aspal modifikasi dengan penambahan 1,5% LLDPE dan agregat.

Persiapan bahan aspal modifikasi dengan LLDPE yaitu menyiapkan aspal murni dan plastik LLDPE 1.5% dari berat aspal murni. Plastik LLDPE digunting secara tidak beraturan untuk memudahkan saat menimbang berat plastik, kemudian dipanaskan hingga plastik meleleh. Langkah selanjutnya memasukkan aspal sesuai dengan berat yang sudah dihitung kedalam plastik sambil diaduk hingga menyatu dan tidak ada gumpalan. Persiapan agregat dengan melakukan analisa saringan untuk mendapatkan fraksi agregat sesuai dengan syarat.

Uji pendahuluan terhadap bahan yang akan digunakan bertujuan untuk mengetahui aspal murni, aspal modifikasi dengan penambahan 1.5% LLDPE dan agregat memenuhi persyaratan yang sudah ditentukan sehingga bisa dilakukan penelitian lanjutan. Pada tahap ini dilakukan uji sifat fisik aspal

murni dan aspal modifikasi yaitu pengujian penetrasi, titik lembek, titik nyala dan titik bakarm daktilitas, berat jenis dan kehilangan berat. Pada pengujian agregat kasar dilakukan pengujian berat jenis, berat jenis semu, penyerapan terhadap air dan kelekatan sedangkan pada agregat halus dan filler hanya dilakukan pengujian berat jenis, berat jenis semu dan penyerapan air.

Sebelum menentukan kadar aspal optimum, dilakukan penentuan kadar aspal rencana dengan penggabungan pada tiga fraksi agregat. Perhitungan dilakukan dengan rumus empiris berikut:

$$P_b = 0.035 (\%CA) + 0.045 (\%FA) + 0.18 (\%Filler) + K \dots\dots\dots(1)$$

dimana : P_b = kadar aspal rencana perkiraan, CA = agregat kasar tertahan saringan no.8, FA = agregat halus lolos saringan No.8 dan tertahan No.200, *Filler* = agregat halus lolos saringan No.200, K = Konstanta, 0.5 – 1.0 untuk Laston, 2.0 – 3.0 untuk Lataston.

Kadar aspal optimum (KAO) dilakukan dengan menggunakan parameter marshall yaitu VIM, VMA, VFB, stabilitas, *flow* dan *marshall quotient*. Tahap pembuatan benda uji campuran aspal AC-WC murni dan AC-WC modifikasi dengan penambahan 1.5% LLDPE masing – masing jumlah benda uji dengan variasi tumbukan 70 kali, 75 kali, 80 kali dan 85 kali sebanyak 3 buah untuk perendaman 30 menit dan 3 buah untuk perendaman 24 jam. Setelah membuat benda uji kemudian dilakukan pemeriksaan sifat volumetrik dan sifat mekanis benda uji.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemeriksaan terhadap sifat fisik bahan yang digunakan untuk membuat campuran aspal dilakukan untuk mengetahui apakah bahan tersebut memenuhi syarat spesifikasi atau tidak. Hasil pemeriksaan bahan aspal murni, aspal modifikasi LLDPE dan agregat disajikan pada Tabel 1 dan 2.

Tabel 1. Hasil pemeriksaan sifat fisik aspal

No.	Pengujian	Aspal Murni *)	Aspal + 1.5% LLDPE *)	Spesifikasi **)
1	Penetrasi (0.1 mm)	65.70	64.50	60 - 70
2	Daktilitas (cm)	136.00	125.00	> 100
3	Titik Lembek (°C)	45.50	52.50	48 - 58
4	Titik Nyala (°C)	300.00	300.00	≥ 232
5	Berat Jenis	1.045	1.03	> 1.00
6	Penurunan Berat (%)	0.23	0.30	≤ 0.80
7	Daktilitas setelah kehilangan berat (cm)	130.00	117,00	≥ 50.00

*) Sumber: Hasil Pengujian **) Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018

Tabel 2. Hasil pemeriksaan fisik agregat

No.	Jenis Pemeriksaan	Hasil Pemeriksaan *)			Persyaratan **)
		Agregat Kasar	Agregat Halus	Filler	
1.	Berat jenis bulk	2.75	2.63	2.67	≥ 2.50
2.	Berat jenis semu	2.87	2.82	2.71	≥ 2.50
3.	Penyerapan (%)	1.55	2.49	-	≤ 3.00
4.	Keausan dengan alat <i>impact</i>	8.15	-	-	≤ 30.00
5.	Kelekatan agregat terhadap aspal (%)	100.00	-	-	≥ 95.00

*) Sumber: Hasil Pengujian **) Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018

Hasil pengujian aspal murni, aspal modifikasi LLDPE, agregat kasar, agregat halus, filler menunjukkan bahwa sifat fisik bahan memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018, oleh karena itu

aspal dan agregat dapat digunakan sebagai bahan campuran aspal beton.

Penentuan Kadar Aspal Optimum

Kadar aspal optimum dibuat dengan menggunakan aspal murni. Nilai Pb dihitung menggunakan rumus $P_b = 0.035 (\%CA) + 0.045 (\%FA) + 0.18\% (\%FF) + K$, didapatkan nilai $P_b = 5.738\%$ yang dibulatkan menjadi 5.5%. Dari hasil perhitungan P_b tersebut didapatkan kadar aspal rencana 4.5%; 5%; 5.5%; 6%; dan 6.5%. Analisa selanjutnya, adalah menghitung parameter volumetrik dan mekanis campuran untuk mendapatkan nilai kadar aspal optimum.

Tabel 3. Penentuan Kadar Aspal Optimum

Sifat	Parameter	Syarat **)	Kadar Aspal, % *)				
			4.50	5,0	5.50	6,0	6.50
Volumetrik	VMA, %	≥ 15	13.36	14.47	15.23	15.99	16.94
	VIM, %	3.0 - 5.0	5.32	5.30	4.93	4.58	4.46
	VFB, %	≥ 65	60.27	63.43	67.67	71.47	73.58
Mekanis	Stabilitas, kg	≥ 800	2229.41	2317.35	2339.38	2368.68	2442.01
	Flow, mm	2.0 - 4.0	3.15	3.32	3.37	3.42	3.58
	MQ, kg/mm	≥ 250	707.94	699.20	695.48	694.50	681.55

*) Sumber: Hasil Pengujian

**) Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018

Keterangan :

Memenuhi Tidak memenuhi

Berdasarkan **Tabel 3** didapat bahwa benda uji yang memenuhi persyaratan parameter sifat volumetrik dan mekanis benda uji dengan kadar aspal 5.5%, 6.0% dan 6.5%. Untuk mendapatkan kadar aspal optimum digunakan nilai tengah dari rentang kadar aspal yang memenuhi spesifikasi dan didapat nilai kadar aspal optimumnya 6.0%.

Sifat Volumetrik dan Mekanis dengan Variasi Jumlah Tumbukan menggunakan Aspal Murni

Pemeriksaan volumetrik dan mekanis campuran aspal dengan variasi jumlah tumbukan 70 kali, 75 kali, 80 kali dan 85 kali menggunakan aspal murni 6.0 %. Hasil pemeriksaan sifat volumetrik dan mekanis dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Sifat Volumetrik dan Mekanis dengan Variasi Jumlah Tumbukan pada Campuran AC-WC menggunakan Aspal Murni

Sifat	Parameter	Syarat **)	Variasi Jumlah Tumbukan *)			
			70	75	80	85
Volumetrik	VMA, %	3 - 5	5.18	4.25	4.05	3.94
	VIM, %	≥ 15	16.63	15.71	15.53	15.36
	VFB, %	≥ 65	68.67	72.97	73.97	74.41
Mekanis	Stabilitas, kg	≥ 800	2321.70	2376.11	2450.54	2463.18
	Flow, mm	2 - 4	3.77	3.65	3.45	3.30
	MQ, kg/mm	≥ 250	617.12	651.85	695.76	741.76

*) Sumber: Hasil Perhitungan

**) Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018

Keterangan :

Memenuhi Tidak memenuhi

Berdasarkan **Tabel 4** didapatkan bahwa jumlah tumbukan yang memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 secara keseluruhan terhadap parameter sifat volumetrik dan mekanis adalah tumbukan 75 kali, 80 kali dan 85 kali.

Sifat Volumetrik dan Mekanis dengan Variasi Jumlah Tumbukan menggunakan Aspal Modifikasi LLDPE

Pemeriksaan sifat volumetrik dengan variasi jumlah tumbukan 70 kali, 75 kali, 80 kali dan 85 kali menggunakan aspal modifikasi 1.5% LLDPE. Hasil pemeriksaan sifat volumetrik dan mekanis dapat dilihat pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Sifat Volumetrik dan Mekanis dengan Variasi Jumlah Tumbukan pada Campuran AC-WC menggunakan Aspal Modifikasi LLDPE

Sifat	Parameter	Syarat **)	Variasi Jumlah Tumbukan *)			
			70	75	80	85
Volumetrik	VMA, %	3 - 5	5.07	4.12	3.95	3.74
	VIM, %	≥ 15	16.47	15.63	15.48	15.29
	VFB, %	≥ 65	64.49	73.67	74.57	75.88
Mekanis	Stabilitas, kg	≥ 800	2348.12	2449.45	2539.47	2706.12
	Flow, mm	2 - 4	3.90	3.80	3.76	3.70
	MQ, kg/mm	≥ 250	602.02	650.98	676.33	731.47

*) Sumber: Hasil Perhitungan

**) Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018

Keterangan :

 Memenuhi  Tidak memenuhi

Berdasarkan **Tabel 5** didapatkan bahwa jumlah tumbukan yang memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 secara keseluruhan terhadap parameter sifat volumetrik dan mekanis adalah tumbukan 75 kali, 80 kali dan 85 kali. Pada tumbukan 70 kali hasil pemeriksaan sifat volumetrik tidak memenuhi spesifikasi sehingga jumlah tumbukan 70 kali tidak dapat digunakan untuk memadatkan campuran.

Pembahasan Sifat Volumetrik dan Mekanis dengan Variasi Jumlah Tumbukan

Rongga dalam Campuran (VIM)

VIM adalah banyaknya pori diantara butir-butir agregat yang diselimuti aspal. VIM merupakan tempat bergesernya butir-butir agregat akibat pemadatan tambahan yang terjadi oleh repetisi beban lalu lintas, atau tempat jika aspal meleleh menjadi lunak akibat meningkatnya suhu udara.

Tabel 6. Nilai VIM Campuran AC-WC menggunakan Aspal Murni dan Aspal Modifikasi LLDPE

Jumlah Tumbukan	Syarat, % **)	VIM, % *)	
		Aspal Murni	Aspal Modifikasi LLDPE
70	3 - 5	5.18	5.07
75		4.25	4.12
80		4.05	3.95
85		3.94	3.74

*) Sumber: Hasil Perhitungan

**) Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018

Dari **Tabel 6** didapatkan bahwa tumbukan yang memenuhi spesifikasi 3-5 adalah tumbukan 75 kali, 80 kali dan 85 kali pada campuran AC-WC menggunakan aspal murni dan aspal modifikasi LLDPE. Nilai VIM campuran AC-WC dengan aspal modifikasi LLDPE lebih kecil dari campuran AC-WC aspal murni karena LLDPE memiliki kemampuan mengisi rongga yang baik sehingga jarak antar agregat dalam campuran semakin dekat dan menghasilkan nilai VIM yang lebih kecil.

Rongga antar Agregat (VMA)

VMA merupakan rongga pori antar agregat pada suatu perkerasan. Hasil perhitungan nilai VMA dapat menentukan keawetan serta durabilitas dari campuran dalam memberikan pelayanan pada saat umur rencana perkerasan.

Tabel 7. Nilai VMA Campuran AC-WC menggunakan Aspal Murni dan Aspal Modifikasi LLDPE

Jumlah Tumbukan	Syarat, % **)	VMA, % *)	
		Aspal Murni	Aspal Modifikasi LLDPE
70	≥ 15	16.53	16.47
75		15.71	15.63
80		15.53	15.48
85		15.36	15.29

*) Sumber: Hasil Perhitungan

**) Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018

Dari Tabel 7 didapatkan bahwa tumbukan yang memenuhi spesifikasi ≥ 15% adalah tumbukan 70 kali, 75 kali, 80 kali dan 85 kali pada campuran AC-WC murni dan AC-WC modifikasi. Nilai VMA campuran AC-WC menggunakan aspal modifikasi LLDPE lebih kecil dari campuran AC-WC menggunakan aspal murni karena LLDPE memiliki kemampuan mengisi rongga yang baik sehingga jarak antar agregat dalam campuran semakin dekat dan menghasilkan nilai VMA yang lebih kecil.

Rongga Pori yang Terisi Aspal (VFB)

VFB adalah rongga pori yang terisi aspal yang merupakan bagian dari rongga yang berada di antara mineral rongga agregat (VMA) yang terisi oleh aspal. Besarnya rongga pori yang terselimuti aspal juga dapat dijadikan sebagai parameter untuk mendeteksi durabilitas suatu campuran aspal karena dapat mempengaruhi karakteristik campuran aspal.

Tabel 8. Nilai VFB Campuran AC-WC menggunakan Aspal Murni dan Aspal Modifikasi LLDPE

Jumlah Tumbukan	Syarat, % **)	VFB, % *)	
		Aspal Murni	Aspal Modifikasi LLDPE
70	≥ 65	68.68	63.49
75		72.97	73.67
80		73.97	74.57
85		73.41	75.88

*) Sumber: Hasil Perhitungan

**) Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018

Dari **Tabel 8** menunjukkan peningkatan nilai VFB dari campuran AC-WC dengan menggunakan aspal murni dan menggunakan aspal modifikasi LLDPE dengan tumbukan 70 kali, 75 kali, 80 kali dan 85 kali memenuhi spesifikasi yaitu ≥ 65%. Nilai VFB pada campuran AC-WC menggunakan aspal modifikasi lebih besar dari campuran AC-WC menggunakan aspal murni, hal ini dikarenakan AC-WC yang menggunakan aspal modifikasi memiliki rongga dalam campuran (VIM) dan rongga antar agregat (VMA) lebih kecil sehingga aspal bisa mengisi banyak rongga.

Stabilitas Marshall

Stabilitas adalah kemampuan campuran dalam menerima beban maksimum yang dapat diterima oleh suatu campuran beraspal saat terjadi keruntuhan. Semakin besar nilai stabilitas maka semakin besar beban yang mampu ditahan, nilai stabilitas yang terlalu tinggi akan menghasilkan perkerasan

yang terlalu kaku sehingga tingkat keawetannya berkurang.

Tabel 9. Nilai Stabilitas Campuran AC-WC menggunakan Aspal Murni dan Aspal Modifikasi LLDPE

Jumlah Tumbukan	Syarat, kg **)	Stabilitas, kg *)	
		Aspal Murni	Aspal Modifikasi LLDPE
70	Min. 800	2321.70	2348.12
75		2376.11	2449.45
80		2450.54	2539.47
85		2463.18	2706.12

*) Sumber: Hasil Perhitungan **) Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018

Dari **Tabel 9** didapatkan bahwa nilai stabilitas pada setiap jumlah tumbukan memenuhi spesifikasi yang disyaratkan yaitu ≥ 800 kg. Untuk nilai stabilitas terbesar pada campuran AC-WC dengan aspal murni dan aspal modifikasi LLDPE berada pada tumbukan 85 kali. Nilai stabilitas pada campuran AC-WC menggunakan aspal modifikasi lebih besar dari pada AC-WC menggunakan aspal murni dikarenakan penambahan LLDPE yang memiliki karakteristik dapat mengeraskan aspal sesuai dengan hasil pengujian penetrasi pada uji pendahuluan sehingga campuran AC-WC menggunakan aspal modifikasi LLDPE semakin padat dan mampu menerima beban lebih besar.

Flow

Flow atau kelelahan merupakan besarnya deformasi yang terjadi pada awal pembebanan hingga mencapai titik beban maksimum saat pengujian stabilitas *Marshall*.

Tabel 10. Nilai *Flow* Campuran AC-WC menggunakan Aspal Murni dan Aspal Modifikasi LLDPE

Jumlah Tumbukan	Syarat, mm **)	Flow, mm *)	
		Aspal Murni	Aspal Modifikasi LLDPE
70	2 - 4	3.77	3.90
75		3.65	3.80
80		3.45	3.76
85		3.30	3.70

*) Sumber: Hasil Perhitungan **) Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018

Dari **Tabel 10** menunjukkan bahwa makin banyak jumlah tumbukan yang dipakai mengakibatkan nilai *flow* pada campuran mengalami penurunan baik menggunakan aspal murni maupun menggunakan aspal modifikasi LLDPE. Namun nilai tersebut masih masuk dalam spesifikasi yang disyaratkan yaitu 2 - 4 mm. Dengan jumlah tumbukan yang sama dihasilkan nilai *flow* pada campuran AC-WC menggunakan aspal modifikasi LLDPE lebih tinggi dari pada AC-WC menggunakan aspal murni yang berarti deformasi pada campuran AC-WC menggunakan aspal modifikasi LLDPE lebih besar dibanding dengan AC-WC menggunakan aspal murni.

Marshall Quotient

Nilai *Marshall Quotient* (MQ) semakin tinggi memungkinkan campuran aspal AC-WC mengalami kekakuan yang tinggi dan rentan terhadap keretakan, sebaliknya semakin rendah nilai MQ maka akan bersifat fleksibilitas dan cenderung menjadi plastis sehingga mudah mengalami deformasi pada saat menerima beban lalu lintas.

Tabel 11. Nilai Marshall Quotient Campuran AC-WC menggunakan Aspal Murni dan Aspal Modifikasi LLDPE

Jumlah Tumbukan	Syarat, kg/mm **)	Marshall Quotient, kg/mm *)	
		Aspal Murni	Aspal Modifikasi LLDPE
70	≥ 250	618.80	602.02
75		651.85	650.98
80		723.11	676.33
85		784.13	731.47

*) Sumber: Hasil Perhitungan

**) Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018

Tabel 11 menunjukkan bahwa seiring bertambahnya jumlah tumbukan nilai *marshall quotient* semakin meningkat dan memenuhi spesifikasi yaitu ≥ 250 kg/mm. Campuran AC-WC menggunakan aspal murni menghasilkan nilai *marshall quotient* lebih besar dibandingkan menggunakan aspal modifikasi LLDPE. Hal ini menunjukkan bahwa campuran AC-WC dengan menggunakan aspal murni memiliki kekakuan yang lebih tinggi dan lebih rentan terhadap keretakan dibanding AC-WC dengan menggunakan aspal modifikasi.

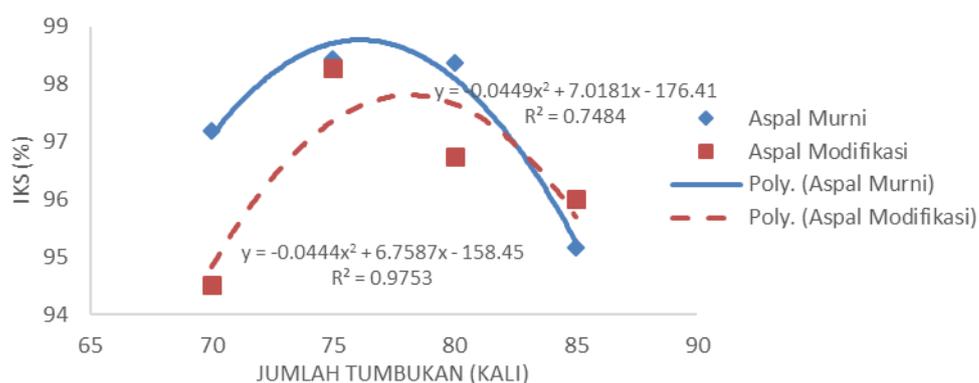
IKS pada Campuran AC-WC menggunakan Aspal Murni dan Aspal Modifikasi LLDPE

Indeks kekuatan sisa (IKS) dianalisa dari data hasil pengujian stabilitas *marshall standard* dengan perendaman selama 30 menit dan stabilitas *marshall immersion* dengan perendaman 24 jam pada campuran AC-WC dengan menggunakan aspal murni dan aspal modifikasi LLDPE.

Tabel 12. Nilai IKS Campuran AC-WC menggunakan Aspal Murni dan Aspal Modifikasi LLDPE

Jumlah Tumbukan	IKS, %	
	Aspal Murni	Aspal Modifikasi LLDPE
70	97.20	94.53
75	98.44	98.28
80	98.38	96.75
85	95.18	96.05

Sumber: Hasil Perhitungan

**Gambar 1.** Grafik Hubungan Jumlah Tumbukan dengan IKS

Berdasarkan **Gambar 1** dapat dilihat persamaan $y = -0.0444 x^2 + 6.7587 x - 158.45$ dan $y = -0.0449 x^2 + 7.0181 x - 176.41$ untuk mendapatkan jumlah tumbukan optimum pada campuran AC-WC menggunakan aspal murni dan aspal modifikasi.

Perhitungan jumlah tumbukan optimum sebagai berikut:

- a. Jumlah tumbukan optimum pada campuran AC-WC menggunakan aspal murni

$$y = -0.0444 x^2 + 6.7587 x - 158.45$$

$$\frac{dy}{dx} = -0.0888 x - 6.7587 \Rightarrow x = 76.11 \approx 76$$

$$y = -0.0444 x^2 + 6.7587 x - 158.45 = -0.0444 (76)^2 + 6.7587(76) - 158.45$$

$$y = 98.76$$

- b. Jumlah tumbukan optimum pada campuran AC-WC menggunakan aspal modifikasi LLDPE

$$y = -0.0449 x^2 + 7.0181 x - 176.41$$

$$\frac{dy}{dx} = -0.0898 x - 7.0181 \Rightarrow x = 78.15 \approx 78$$

$$y = -0.0449 x^2 + 7.0181 x - 176.41 = -0.0449 (78)^2 + 7.0181(78) - 176.41$$

$$y = 97.83$$

Berdasarkan perhitungan, maka didapatkan nilai indeks kekuatan sisa (IKS) optimum campuran AC-WC dengan menggunakan aspal murni terdapat pada jumlah tumbukan 76 kali dengan nilai 98.76% dan nilai IKS optimum pada campuran AC-WC dengan menggunakan aspal modifikasi LLDPE terdapat pada jumlah tumbukan 78 kali dengan nilai 97.83%.

SIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Pengujian sifat fisik aspal pen. 60/70 pada aspal murni dan aspal modifikasi dengan penambahan 1.5% LLDPE memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Hasil pengujian sifat volumetrik yaitu VIM, VMA dan VFB dengan jumlah tumbukan 75 kali, 80 kali dan 85 kali pada campuran AC-WC dengan menggunakan aspal murni dan aspal modifikasi memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Hasil pengujian mekanis pada campuran AC-WC dengan menggunakan aspal murni dan aspal modifikasi memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Nilai pengujian stabilitas dan marshall quotient pada kedua jenis campuran mengalami peningkatan, sedangkan flow mengalami penurunan. Nilai indeks kekuatan sisa optimum pada campuran AC-WC menggunakan aspal murni terjadi pada jumlah tumbukan 76 kali dengan nilai 98.76%, sedangkan nilai indeks kekuatan sisa optimum pada campuran AC-WC menggunakan aspal modifikasi terjadi pada jumlah tumbukan 78 kali dengan nilai 97.83%.

Saran

Dilakukan penelitian lanjutan terhadap variasi jumlah tumbukan pada campuran menggunakan aspal dengan bahan tambah yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. 2011. SNI 06-2432-2011 *Metode Pengujian Daktilitas Bahan Aspal*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2011. SNI 06-2433-2011 *Cara Uji Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal dengan Alat Cleveland Open Cup*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2011. SNI 06-2434-2011 *Cara Uji Titik Lembek Aspal dengan Alat Cincin dan Bola*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2011. SNI 06-2441-2011 *Cara Uji Berat Jenis Aspal Keras*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2011. SNI 06-2456-2011 *Cara Uji Penetrasi Aspal*. Jakarta.
- Cabrera, J.G. (1991). *Assessment of the Workability of Bituminous Mixtures*. *Jurnal Highways and Transportation*, 38 (11), 17-23.
- Diansari, S., Ali H, dan Pratomo P. (2016). *Aspal Modifikasi dengan Penambahan Plastik Low Linier Density Poly Ethylene (LLDPE) Ditinjau dari Karakteristik Marshall dan Uji Penetrasi pada Lapisan Aspal Beton (AC-WC)*, *Jurnal Rekayasa*, 20 (3), 156-165.
- Direktorat Jendral Bina Marga. (2018). *Spesifikasi Umum 2018*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Firmansyah, H. (2019). *Pengaruh Penggunaan Plastik LLDPE (Low Linier Density Polyethylene) Terhadap Kinerja Campuran Asphalt Concrete-Wearing Course*. Tugas Akhir, Universitas Mataram, Mataram.
- Hadi, S. (1987). *Analisis Regresi*. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.
- Prasetyo, D. (2011). *Analisa Pengaruh Variasi Jumlah Tumbukan Pada Proses Pematatan Campuran Aspal Beton*. Tugas Akhir, Universitas Indonesia, Jakarta.
- Pratomo, P., Ali H, dan Yuliansyah. (2015). *Kepadatan Campuran dengan Variasi Tumbukan Terhadap AC-WC Gradasi Halus*, *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*, 3 (2), 249-260.
- Soehartono. (2015). *Teknologi Aspal dan Penggunaannya dalam Konstruksi Perkerasan Jalan*. Andi Offset. Yogyakarta
- Sukirman, S. (1999). *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Nova. Bandung.
- Sukirman, S. (2016). *Beton Aspal Campuran Panas*. Institut Teknologi Nasional. Bandung.
- Syahputra, A. (2014). *Variasi Jumlah Tumbukan Terhadap Karakteristik AC-WC Gradasi Kasar dengan Suhu Pencampuran Ideal*. Tugas Akhir, Universitas Negeri Lampung, Lampung.
- Wahyudi, M. (2010). *Evaluasi Teknik Pematatan Dan Faktor-Faktor yang Berpengaruh Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Berbatuan Besar*. Tesis, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.