

PENGARUH SUBSTITUSI LIMBAH PLASTIK LDPE PADA AGREGAT HALUS TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL UNTUK CAMPURAN LASTON AC-WC

Diyah Ayu Lestari^{1*}, Qomariah², Aulia Rahman³

Mahasiswa Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan Dan Jembatan, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang¹, Dosen Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang², Dosen Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang³

Email: diyahayu1222@gmail.com¹, qomariah@polinema.ac.id², aulia.rahman@polinema.ac.id³

ABSTRAK

Infrastruktur jalan terus dibangun oleh pemerintah, sehingga perlu dilakukan modifikasi dalam campuran aspal untuk meningkatkan kualitas struktur jalan. Salah satu hal yang dapat dilakukan dalam memodifikasi adalah dengan menggunakan limbah plastik untuk meningkatkan mutu dan kualitas lapis perkerasan, disisi lain modifikasi ini sebagai bentuk upaya penanggulangan limbah sampah di Indonesia. Dalam penelitian ini menggunakan limbah plastik jenis *Low Density Polyethylene* (LDPE) yang telah diolah menjadi biji plastik menggunakan metode pencampuran cara kering (*Dry Process*). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dampak dari penggunaan biji plastik LDPE pada campuran Laston AC-WC terhadap karakteristik campuran marshall. Adapun metode penelitian ini yaitu mengganti sebagian agregat yang tertahan saringan ukuran 2,36 mm dengan biji plastik jenis LDPE sebesar 4%, 7% dan 9%. Tahapan dalam penelitian ini meliputi uji fisik setiap material, menghitung kadar aspal rencana, menghitung proporsi campuran, pengujian KAO (Kadar Aspal Optimum) tanpa substitusi plastik LDPE, dan pengujian campuran dengan substitusi plastik LDPE berdasarkan spesifikasi Umum Direktorat Jenderal Bina Marga 2018 (revisi 2) Divisi 6 untuk campuran AC-WC. Hasil dari pengujian KAO dengan kadar aspal 4,5%; 5%; 5,5%; 6%; 6,5% didapatkan nilai KAO sebesar 6,2%. Selanjutnya nilai KAO tersebut digunakan untuk membuat campuran dengan substitusi plastik LDPE. Hasil pengujian pada benda uji variasi plastik LDPE menunjukkan bahwa seiring penambahan biji plastik LDPE memberikan dampak pada campuran laston AC-WC yang meliputi peningkatan sebagian besar parameter Marshall yang terpenuhi, kecuali VIM yang tidak memenuhi spesifikasi.

Kata Kunci : Plastik LDPE; karakteristik marshall; laston AC-WC

ABSTRACT

Road infrastructure continues to be built by the government, so it is necessary to make modifications in the asphalt mixture to improve the quality of the road structure. One of the things that can be done in modifying is to use plastic waste to improve the quality and quality of the pavement, on the other hand this modification is a form of effort to reduce plastic waste in Indonesia. In this study using plastic waste type Low Density Polyethylene (LDPE) which has been processed into plastic seeds using the dry mixing method (Dry Process). This study aims to determine the impact of the use of LDPE plastic seeds in the AC-WC Laston mixture on the characteristics of the marshall mixture. The method of this research is to replace part of the aggregate retained by the 2.36 mm sieve size with LDPE plastic seeds at 4%, 7% and 9%. The stages in this research include physical testing of each material, calculating the planned asphalt content, calculating the mixture proportion, testing KAO (Optimum Asphalt Content) without LDPE plastic substitution, and testing the mixture with LDPE plastic substitution based on the General specifications of the Directorate General of Highways 2018 (revision 2) Division 6 for AC-WC mixtures. The results of the KAO test with asphalt content of 4.5%; 5%; 5.5%; 6%; 6.5% obtained a KAO value of 6.2%. Furthermore, the KAO value is used to make mixtures with LDPE plastic substitution. The test results on the LDPE plastic variation specimens show that the addition of LDPE plastic seeds has an impact on the AC-WC laston mixture which includes an increase for most Marshall parameter are filled, except VIM are not including specification.

Keywords: LDPE plastic; Marshall characteristics; AC-WC laston

1. PENDAHULUAN

Pemerintah Indonesia terus melakukan pembangunan infrastruktur jalan untuk memenuhi kebutuhan transportasi darat yang terus meningkat. Perkerasan lentur atau *flexible pavement* merupakan perkerasan jalan yang umum digunakan di Indonesia, salah satu jenis perkerasan lentur yang digunakan adalah LASTON (Lapis aspal beton) karena mempunyai nilai struktural, stabilitas tinggi, memiliki sifat kedap air serta nyaman bagi pengguna jalan. Namun pada kenyataannya, seringkali perkerasan jalan mengalami kerusakan atau tidak mencapai umur layan.

Berdasarkan data dari SIPSN (Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional) per tahun 2022 timbul sampah di Indonesia mencapai 70 juta ton dimana 18.02 % atau 12,614 juta ton adalah sampah plastik. Pemanfaatan limbah plastik telah dilakukan diberbagai bidang seperti pada bidang konstruksi jalan. Kementerian Pekerjaan Umum dan perumahan rakyat melalui badan penelitian dan pengembangan (Balitbang) melakukan penelitian mengenai penambahan plastik pada campuran aspal sebagai solusi dalam mengurangi permasalahan sampah plastik [1].

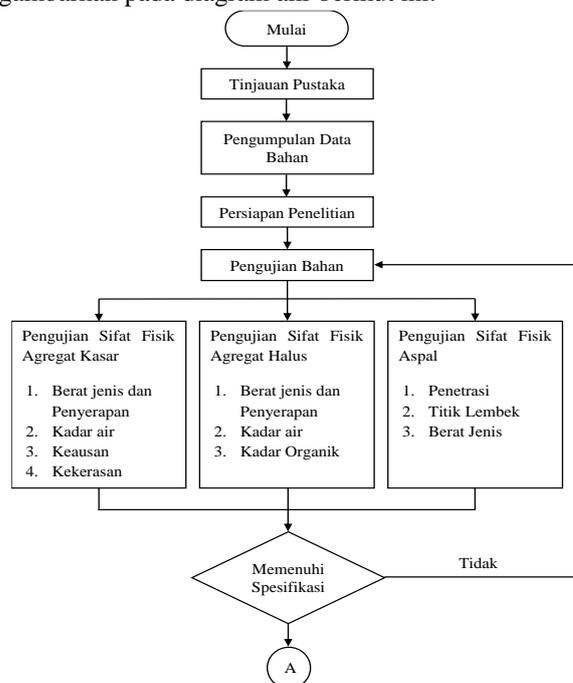
Berdasarkan penelitian Putera, dkk (2023: 46-52) menunjukkan terjadi peningkatan nilai stabilitas pada substitusi LDPE 4% lebih tinggi dibandingkan dengan HDPE 4% dan PET 4%. Pada penelitian oleh Setyarini et al., (2019) penambahan limbah plastik LDPE dalam campuran aspal beton dengan kadar plastik 6% dan kadar aspal 4% memiliki nilai stabilitas tertinggi yaitu 2498,39 kg, membuktikan bahwa semakin banyak kadar plastik yang digunakan dalam campuran aspal beton akan dapat meningkatkan nilai stabilitas, sampai batas tertentu dan Nilai flow meningkat seiring dengan meningkatnya kadar plastik pada campuran aspal beton.

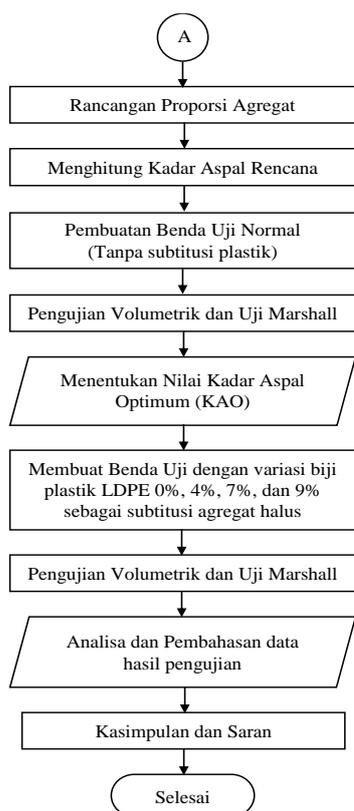
Berdasarkan uraian di atas, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang kinerja campuran aspal laston AC-WC dengan campuran limbah plastik jenis *Low Density Polyethylene* (LDPE) dengan kadar variasi campuran yaitu 4%, 7%, dan 9% yang disubstitusikan terhadap berat agregat halus. Diharapkan dapat lebih berkontribusi besar dalam mengurangi pencemaran dan degradasi lingkungan akibat limbah plastik LDPE yang dipakai dalam jumlah yang lebih besar serta dapat meningkatkan sifat fisik campuran beton aspal dan karakteristiknya. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui kadar aspal yang optimum, karakteristik plastik LDPE setelah dicampur agregat halus pada saat pemanasan dan efek penambahan limbah plastik LDPE terhadap karakteristik marshall dan.

2. METODE

Penelitian dilakukan di Laboratorium Bahan Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9 Malang, Jawa Timur. Pada penelitian ini menggunakan material agregat kasar yang berasal dari Pasuruan, agregat halus dari Lumajang dan *filler* semen *portland* Gresik. Adapun limbah plastik LDPE yang digunakan merupakan plastik yang telah diolah menjadi biji plastik.

Dalam pelaksanaan penelitian ini terdapat beberapa tahapan, dimulai dari pengumpulan data pendukung penelitian dari literatur yang telah ada, kemudian mempersiapkan material untuk melakukan uji fisik pada setiap material. Selanjutnya menghitung kadar aspal rencana, menghitung proporsi campuran yang mengacu pada Spesifikasi umum Bina Marga 2018 untuk laston AC-WC untuk 5 variasi kadar aspal. Dilanjutkan dengan pembuatan benda uji normal sebanyak 10 sampel untuk mendapatkan nilai KAO yang nantinya akan digunakan untuk dan membuat benda uji dengan substitusi limbah plastik LDPE sebanyak 12 sampel, dimana menggunakan cara kering (*dry process*) dalam metode pencampuran plastik dengan agregat. Kemudian dilakukan pengujian marshall dan menganalisisnya sehingga dapat disimpulkan hasil nilai karakteristik marshall dari benda uji yang telah dibuat sesuai dengan spesifikasi Umum Direktorat Jenderal Bina Marga 2018 (revisi 2) Divisi 6, secara menyeluruh dapat digambarkan pada diagram alir berikut ini:





Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum pembuatan benda uji, material harus diperiksa untuk memastikan bahwa kualitas material memenuhi spesifikasi yang digunakan dalam campuran laston AC-WC. Berikut hasil dari uji fisik material diuraikan sebagai berikut:

Tabel 1 Hasil Uji Fisik Agregat Kasar

Nama Pengujian	Hasil Pengujian	Quality Standars	
		Min	Max
Berat Jenis			
- Bulk	2,71	2,5	-
- JPK / SSD	2,76	2,5	-
Penyerapan	2,01	-	3%
Kadar Air	1,55	0,5%	2%
Kekerasan	3,98	-	40%
Keausan	17,98	-	40%

Tabel 2 Hasil Uji Fisik Agregat Kasar

Nama Pengujian	Hasil Pengujian	Quality Standars	
		Min	Max
Berat Jenis			
- Bulk	2,69	2,5	-
- JPK / SSD	2,74	2,5	-
Penyerapan	0,75	-	3%
Kadar Air	1,74	1%	5%

Kadar Organik 1 1 3

Tabel 3 Hasil Uji Fisik Agregat Kasar

Nama Pengujian	Hasil Pengujian	Quality Standars	
		Min	Max
Penetrasi (C°)	65,4	60	70
Titik Lembek (°C)	48	48	-
Berat Jenis	1,03	1,0	-

Dari hasil pembahasan didapatkan bahwa seluruh material agregat kasar, agregat halus dan aspal telah memenuhi spesifikasi yang berlaku, setelah didapatkan hasil material dibuatlah proporsi campuran. Hasil proporsi yang didapatkan yaitu sebagai berikut:

Tabel 4 Hasil Proporsi Campuran Agregat

Ukuran Saringan	Batas Atas (%)	Batas Bawah (%)	Lolos (%)	Tertahan (%)	Pb (%)
19 mm	100	100	100	0	
12,5 mm	100	90	95	5	AK =
9,5 mm	90	77	83,5	11,5	39%
4,75 mm	69	53	61	22,5	
2,36 mm	53	33	43	18	
1,18 mm	40	21	26	17	
0,60 mm	30	14	22	4	AH =
0,30 mm	22	9	15,5	6,5	54,5
0,15 mm	15	6	10,5	5	%
0,075 mm	9	4	6,5	4	
PAN				6,5	BP =
					6,5%

Dilanjutkan dengan menghitung kadar aspal berikut perhitungan kadar aspal menurut penggabungan gradasi Bina Marga ditentukan dengan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 Pb &= 0,035 (\%AK) + 0,045 (\%AH) + 0,18 (\%BP) + \text{konstanta} \\
 &= 0,035 (39\%) + 0,045 (54,5\%) + 0,18 (6,5\%) + 0,50 \\
 &= 5,487\% \approx 5,5\%
 \end{aligned}$$

Keterangan:

Pb = Kadar aspal perkiraan, persen terhadap berat campuran;
 CA = Persen agregat tertahan saringan No. 8;
 FA = Agregat halus lolos saringan No.8 dan tertahan No.200;
 Filler = Agregat minimal 75% lolos saringan No. 200;
 K = Nilai konstanta sekitar 0,5 untuk AC (*aspalt concrete*)

Dari perhitungan di atas diperoleh kadar aspal rencana (Pb) sebesar 5,487% dibulatkan 5,5%, kemudian ditentukan dua kadar aspal dibawah nilai Pb dan dua kadar aspal di atas nilai Pb dan diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 5 Kadar Aspal Rencana

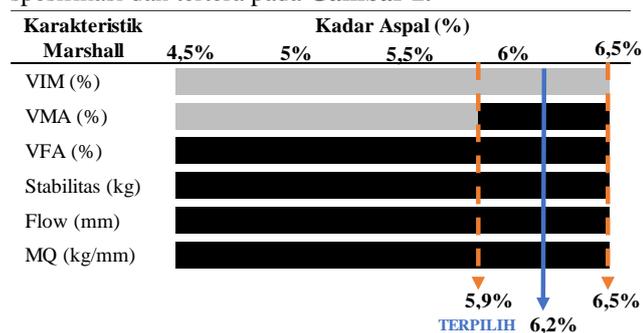
Pb-1	Pb-0,5	Pb	Pb+0,5	Pb+1
4,5	5,0	5,5	6	6,5

Selanjutnya membuat benda uji (tanpa substitusi plastik) untuk mendapatkan nilai KAO dengan pengujian Marshall didapatkan nilai stabilitas dan *flow*, sedangkan nilai volumetrik meliputi nilai VIM, VMA, dan VFB merupakan parameter yang dipengaruhi oleh campuran yang telah dibuat. Dari hasil pengujian Marshall dibuat grafik hubungan antara kadar aspal dan karakteristik campuran sebagai acuan penentuan nilai KAO. Hasil karakteristik campuran dari masing-masing gradasi ditampilkan dalam **Tabel 6**.

Tabel 6 Hasil Marshall Benda Uji KAO

Karakteristik Marshall	Spesifikasi	Kadar Aspal (%)				
		4,5%	5,0%	5,5%	6,0%	6,5%
VIM (%)	3,0-5,0	1,049	1,265	0,338	0,459	0,503
VMA (%)	Min. 15	13,864	14,730	14,342	15,133	15,175
VFA (%)	Min. 65	92,594	91,303	97,620	96,981	96,679
Stabilitas (kg)	Min. 800	1260,33	1371,66	1329,87	1310,94	1268,23
Flow (mm)	2,0-4,0	2,35	2,12	2,20	2,33	2,45
MQ (kg/mm)	Min. 250	546,85	651,07	659,60	570,31	519,57

Dari hasil uji marshall diatas dapat terlihat bahwa ada beberapa variasi kadar aspal yang tidak memenuhi spesifikasi. Semua data hasil karakteristik dari setiap nilai kadar aspal kedalam diagram barchart, didapatkan nilai KAO melalui penunjukkan tanda panah yang terdapat dalam diagram, panah yang berada diantara kedua panah merupakan nilai kadar aspal yang memenuhi semua spesifikasi dan tertera pada **Gambar 2**.



Gambar 2 Barchart Nilai Kadar Aspal Optimum (KAO)

Dari gambar diatas didapatkan nilai Kadar aspal optimum sebesar 6,2% yang merupakan nilai tengah dari kadar aspal 5,9% dan 6,5%. Sehingga nilai kadar aspal terpilih tersebut dibuat komposisi campuran untuk benda uji dengan variasi plastik LDPE sebesar 4% ; 7% dan 9% dari berat total agregat tertahan saringan 2,36 mm. Dan membuat benda uji

0% (tanpa plastik LDPE) sebagai pembanding dengan variasi plastik LDPE. Berikut ini adalah satu perhitungan komposisi campuran pada benda uji, sebagai berikut:

Tabel 7 Komposisi Campuran Variasi Plastik LDPE 4%

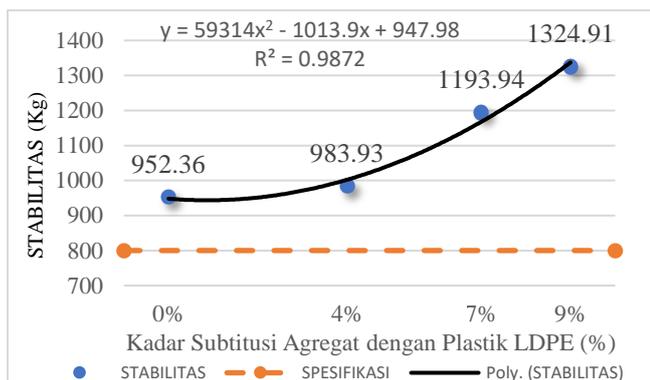
Kadar Aspal (%)	6,20%			
Berat Aspal (gr)	74,4			
LDPE (%)	4%			
Ukuran Saringan	% Tertahan	Berat campuran tanpa LDPE	Penambahan LDPE	Berat Total
19 mm	0%	0		0
12,5 mm	5%	56,3		56,3
9,5 mm	11,50%	129,4		129,4
4,75 mm	22,50%	253,3		253,3
2,36 mm	18%	194,5	8,1	202,6
1,18 mm	17%	191,4		191,4
0,60 mm	4,0%	45,0		45,0
0,30 mm	6,50%	73,2		73,2
0,15 mm	5%	56,3		56,3
0,075 mm	4%	45,0		45,0
PAN	6,50%	73,2		73,2
JUMLAH		1117,5		1200,0

Dari perhitungan tersebut dilakukan pembuatan benda uji, dilakukan pengujian Marshall untuk mendapatkan nilai stabilitas, flow dan MQ. Sedangkan nilai volumetrik meliputi nilai VIM, VMA, dan VFB merupakan parameter yang dipengaruhi oleh campuran yang telah dibuat, di rangkum pada gambar tabel berikut ini:

Tabel 8 Hasil Marshall Benda Uji Substitusi LDPE

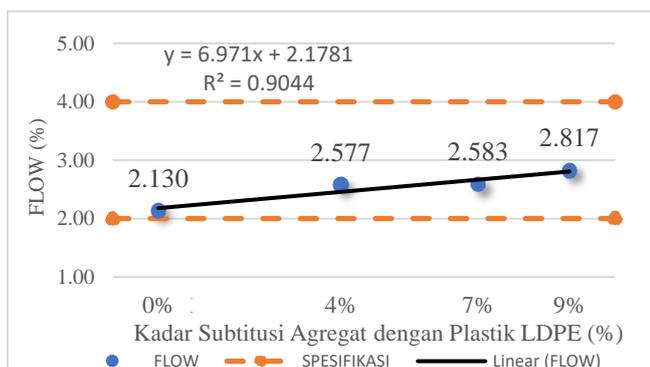
Karakteristik Marshall	Spesifikasi	Kadar Plastik LDPE (%)			
		0%	4%	7%	9%
VIM (%)	3,0 - 5,0	1,278	1,568	1,449	1,153
VMA (%)	Min. 15	15,914	16,612	16,656	16,861
VFA (%)	Min. 65	91,956	90,544	91,388	93,040
Stabilitas (kg)	Min. 800	952,36	983,93	1193,94	1324,91
Flow (mm)	2,0 - 4,0	2,130	2,577	2,583	2,817
MQ(kg/mm)	Min. 250	488,98	398,77	467,16	471,00

Dari **Tabel 8** menunjukkan bahwa hampir semua nilai parameter Marshall pada Kadar aspal optimum memenuhi persyaratan, namun hanya parameter rongga dalam campuran (VIM) yang tidak memenuhi persyaratan. Hasil pengujian ditampilkan dalam grafik yang menghubungkan kadar plastik substitusi dengan karakteristik Marshall yang ditinjau, yang ditunjukkan sebagai berikut.



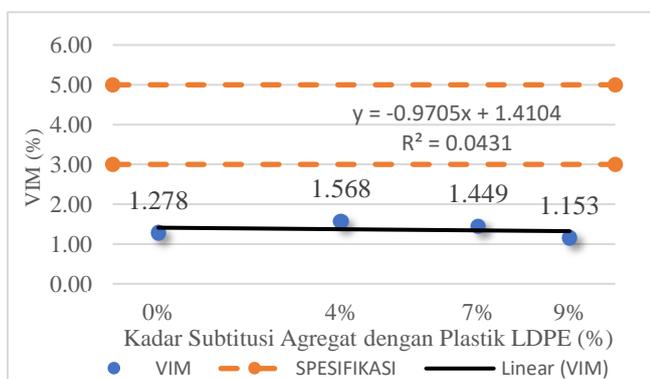
Gambar 3 Grafik Hubungan LDPE Terhadap Stabilitas

Nilai stabilitas mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya kadar substitusi plastik dalam agregat. Keseluruhan nilai stabilitas yang di dapat dari pengujian memenuhi spesifikasi Umum Bina Marga 2018 dengan minimum 800 kg.



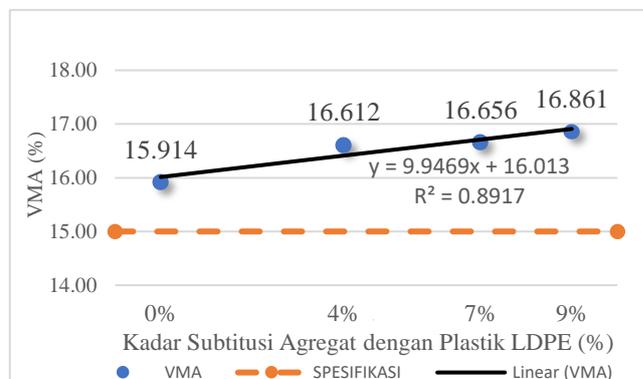
Gambar 4 Grafik Hubungan LDPE Terhadap Flow

Nilai parameter Flow mengalami kenaikan dari kondisi normal, nilai tertinggi pada kadar substitusi 9% sedangkan nilai flow terendah terdapat pada kadar substitusi 0%. Menunjukkan bahwa dengan penambahan kadar variasi plastik LDPE membuat nilai flow cenderung meningkat. Dimana hasil nilai stabilitas di atas memenuhi spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yaitu 2 mm – 4 mm.



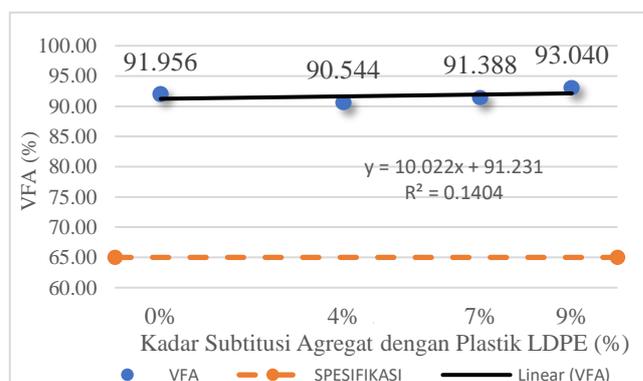
Gambar 5 Grafik Hubungan LDPE Terhadap VIM

Nilai VIM dari kondisi normal tanpa campuran plastik 0% menuju penambahan plastik LDPE 4% mengalami peningkatan. Namun seiring dengan bertambahnya penambahan plastik nilai VIM akan menurun. Keseluruhan nilai VIM baik kondisi normal tanpa campuran plastik maupun substitusi agregat dengan plastik LDPE tidak memenuhi spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yaitu 3% - 5%. VIM digunakan sebagai ruang untuk agregat bergeser dan jika pada perkerasan jalan untuk menerima beban lalu lintas. Nilai VIM yang rendah menunjukkan bahwa rongga dalam campuran semakin sedikit yang memberi dampak peningkatan kedekatan air, sehingga meningkatkan keawetan.



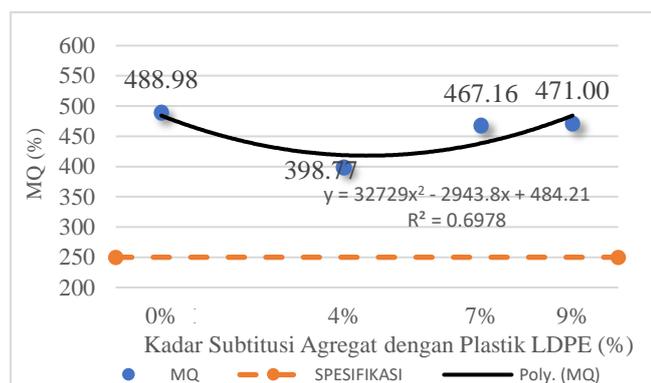
Gambar 6 Grafik Hubungan LDPE Terhadap VMA

Hubungan kadar substitusi terhadap VMA mengalami kenaikan seiring dengan besarnya kadar substitusi plastik LDPE yang ditambahkan pada agregat. Dengan penambahan LDPE nilai VMA cenderung lebih tinggi dibandingkan benda uji normal 0%. Keseluruhan nilai parameter VMA benda uji normal 0% maupun substitusi agregat dengan plastik LDPE 4%, 7%, 9% yang di dapat dari pengujian memenuhi spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yaitu minimum 15%. Menunjukkan pengurangan pori antar agregat semakin



Gambar 7 Grafik Hubungan LDPE Terhadap VFA

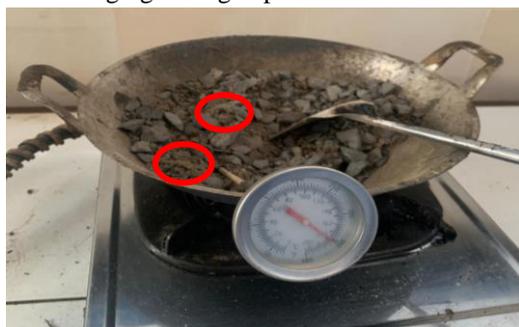
Dari grafik di atas dapat disimpulkan bahwa semakin bertambahnya kadar substitusi agregat dengan plastik LDPE akan menyebabkan nilai VFA semakin naik. Sedangkan nilai VFA substitusi agregat dengan plastik LDPE mengalami kenaikan dan penurunan dari kondisi normal 0%, namun dari penambahan substitusi agregat dengan plastik LDPE 4%, 7% dan 9% terus mengalami peningkatan. Dimana nilai VFA memenuhi spesifikasi Umum Bina Marga yaitu minimum 65%.



Gambar 8 Grafik Hubungan LDPE Terhadap MQ

Berdasarkan grafik diatas Nilai MQ mengalami penurunan dari kondisi normal tanpa campuran plastik, MQ tertinggi pada kadar substitusi 0% sedangkan nilai MQ terendah pada kadar substitusi 4% dan pada kadar 7%, 9% mengalami kenaikan berturut. Namun nilai MQ masih memenuhi spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yaitu minimum 250 kg/mm.

Pada penelitian ini menggunakan metode pencampuran plastik pada campuran aspal menggunakan metode kering yaitu dengan mencampurkan plastik setelah seluruh agregat kasar, halus, dan *filler* tercampur pada saat pemanasan agregat. Suhu saat pemanasan campuran plastik dan agregat yaitu 180°C, mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh (Latif & Setiawan, 2023) menemukan bahwa plastik LDPE memiliki titik leleh $\geq 180^\circ\text{C}$ dalam pencampuran penyelimutan agregat dengan plastik.



Gambar 9 Plastik LDPE Setelah Dicampur Agregat

Pada **Gambar 9** pencampuran agregat dengan biji plastik LDPE yang dilakukan dalam penelitian ini, saat proses pemanasan biji plastik meleleh dan berubah menjadi bentuk lembaran atau film, sehingga sebagian menjadi gumpalan akibat pelelehan plastik yang tidak sempurna sehingga bercampur dengan agregat halus.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil penelitian dan analisis data yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil pengujian karakteristik campuran tanpa substitusi plastik LDPE dengan variasi kadar aspal rencana 4,5%; 5%; 5,5%; 6%; 6,5% dituangkan kedalam grafik dan diagram barchart, diketahui bahwa pada kadar aspal 5,9% sampai 6,5% menghasilkan karakteristik campuran yang memenuhi spesifikasi Bina Marga tahun 2018, hanya nilai VIM yang tidak memenuhi spesifikasi. Sehingga kadar aspal optimal (KAO) yang merupakan rata-rata dari kedua kadar aspal tersebut yaitu 6,2%.
2. Dari penelitian yang telah dilakukan disimpulkan bahwa karakteristik plastik LDPE yang berbentuk biji plastik saat proses pemanasan plastik meleleh dan berubah menjadi bentuk lembaran atau film, sehingga sebagian menjadi gumpalan akibat pelelehan plastik yang tidak sempurna sehingga bercampur dengan agregat halus. Hal tersebut dapat mempengaruhi nilai karakteristik campuran laston AC-WC.
3. Hasil analisis substitusi agregat halus dengan limbah plastik LDPE 0%, 4%, 7%, dan 9% pada campuran AC-WC terhadap parameter Marshall menyebabkan meningkatnya nilai stabilitas seiring dengan bertambahnya persentase jumlah LDPE dibandingkan dengan tanpa campuran LDPE. Parameter lainnya yaitu nilai flow, VMA, VFA, MQ juga mengalami peningkatan namun masih memenuhi spesifikasi. Sedangkan pada nilai VIM terjadi penurunan seiring bertambahnya kadar plastik LDPE dimana tidak memenuhi spesifikasi umum Bina Marga 2018. Dengan demikian, penggunaan limbah plastik LDPE sebagai substitusi agregat halus secara keseluruhan dapat meningkatkan daya dukung dan meningkatkan keawetan jalan.

Dari kesimpulan yang telah didapatkan penulis mengusulkan beberapa saran yang dapat dilakukan penelitian lebih lanjut. Rekomendasi yang diberikan penulis anatara lain:

1. Setelah peninjauan kembali, dapat disimpulkan bahwa nilai VIM yang didapat pada penelitian ini sebagian besar tidak memenuhi spesifikasi yang ditetapkan. Maka penulis menyarankan untuk menggunakan *filler* dengan jenis lain seperti abu batu.
2. Presentase penambahan limbah plastik LDPE sebaiknya lebih ditingkatkan untuk mengetahui batas maksimal penggunaan LDPE sebagai bahan tambah di agregat.
 1. Untuk penelitian selanjutnya disarankan jenis plastik yang digunakan lebih variatif, karena plastik memiliki banyak jenis sehingga seluruh jenis limbah plastik dapat digunakan sebagai material tambahan dapat campuran aspal.
 2. Disarankan untuk penelitian selanjutnya dapat menggunakan limbah plastik bentuk cacahan dikarenakan jika menggunakan bentuk biji plastik harganya lebih mahal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Balitbang Dan BBPJN VIII Surabaya. (2017). Penerapan Skala Penuh Teknologi Aspal Limbah Plastik. Jawa Timur: Kementrian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat.
- [2] Direktorat Jenderal Bina Marga. (2018). Spesifikasi Umum 2018. Edaran Dirjen Bina Marga Nomor 02/SE/Db/2018, Revisi 2, 6.1-6.104.
- [3] Latif, A., & Setiawan, A. (2023). Pengaruh Penambahan Plastik High Density Polyethylene (HDPE) dan Low Density Polyethylene (LDPE) Terhadap Karakteristik Campuran Aspal AC-WC Menggunakan Metode Kering. *Sainteks*, 20(2), 153–165.
- [4] Putera, A. M., Santosa, R., & Muryanto, D. (2023). 6169-Article Text-22783-1-10-20230516. 01(April), 46–52.
- [5] Setyarini, N. L. P. S. E., Tajudin, A. N., & Pratama, J. (2019). Karakteristik Marshall Lapisan Aus Aspal Beton Menggunakan Agregat Terselimut Limbah Plastik Ldpe (Low Density Polyethylene). *Jurnal Muara Sains, Teknologi, Kedokteran Dan Ilmu Kesehatan*, 3(1), 123.