

ANALISIS ASPHALT LASTON AC-WC DENGAN BAHAN TAMBAH *OYSTER SHELL* DAN LIMBAH PLASTIK *LOW DENSITY POLYETHYLENE (LDPE)* UNTUK PERKERASAN JALAN

Alfitri Ratnasari¹, Alwi Hapsari², Juny Andry³

¹²³Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung Semarang,
alfitriatnasari19@gmail.com

ABSTRAK

Peningkatan industri konstruksi, khususnya perkerasan jalan, menyebabkan pengambilan bahan baku berlebihan, yang berdampak pada kerusakan alam dan masalah lingkungan, termasuk limbah yang tidak dikelola dengan baik. Untuk mengatasi hal ini, penelitian dilakukan untuk memanfaatkan limbah Oyster Shell dan plastik LDPE sebagai bahan tambahan dalam campuran aspal panas. Oyster Shell Powder mengandung lebih dari 90% CaCO₃, mirip dengan kandungan kalsium karbonat pada semen Portland, sementara plastik LDPE dapat meningkatkan adhesi campuran aspal. Penelitian ini menggunakan variasi penambahan Oyster Shell Powder 0%, 2%, 4%, 6% dan plastik LDPE 0%, 3%, 6%, dengan metode eksperimen yang dilakukan di Laboratorium Perkerasan Jalan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Pengujian Marshall Test dilakukan untuk mengukur hubungan antara kadar aspal dan parameter Marshall, seperti stabilitas, VIM, VMA, flow, dan Marshall Quotient (MQ). Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi dengan Oyster Shell Powder 6% dan LDPE 6% menghasilkan nilai stabilitas terbesar, yaitu 2779,22 kg. Sebaliknya, campuran dengan Oyster Shell Powder 4% dan LDPE 6% menunjukkan nilai stabilitas terendah, dengan rata-rata 867 kg. Hal ini menunjukkan potensi penggunaan limbah Oyster Shell dan plastik LDPE untuk meningkatkan kinerja perkerasan jalan serta mengurangi dampak lingkungan dari limbah.

Kata kunci : *AC-WC; Oyster Shell; LDPE; Marshall Test*

Penerbit : Fakultas Teknik Universitas Pasifik Morotai

1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jaringan jalan aspal di Indonesia sekarang ini semakin meluas sehingga menumbuhkan peningkatan yang cukup pesat dari segi konektivitas, mobilitas serta pertumbuhan ekonomi. Perkerasan jalan di Indonesia yang sering digunakan yaitu perkerasan jalan menggunakan aspal beton (*Asphalt Concrete*). Lapisan aspal beton banyak digunakan karena jenis perkerasan ini memiliki nilai stabilitas dan fleksibilitas yang baik. Bahan – bahan pencampur lapisan aspal beton terdiri dari agregat kasar, agregat halus, agregat sedang, bahan pengisi dan aspal. Bahan – bahan tersebut harus memiliki karakteristik yang sesuai dengan persyaratan yang sudah ada agar perkerasan jalan aspal beton memiliki nilai stabilitas dan fleksibilitas yang baik. Penggunaan bahan untuk perkerasan jalan menjadi sangat meningkatkan seiring dengan perkembangan infrastruktur di Indonesia. Dikarnakan

hal tersebut perlunya penggunaan bahan alternatif lain sebagai bahan tambah pada perkerasan jalan khususnya perkerasan AC-WC. Material alternatif yang memiliki peluang untuk digunakan sebagai bahan konstruksi serta ramah lingkungan salah satunya yaitu cangkang kerang. Kandungan CaCO_3 yang melebihi 90% pada *Oyster Shell* sangat mirip dengan kandungan kalsium karbonat pada debu kalsium yang digunakan dalam produksi semen Portland (Ruslan et al., 2021). Hal ini menunjukkan potensi besar pemanfaatan *Oyster Shell* dalam industri konstruksi. Dalam penelitian lainnya yang dilakukan oleh Bellei et al (2023), disebutkan bahwa *Oyster Shell* yang telah dihancurkan dan dipanaskan pada suhu tinggi akan mengubah kalsium karbonat (CaCO_3) menjadi kalsium oksida (CaO) yang mengandung kalsium hidroksida atau *hydrated lime*. Kalsium hidroksida juga berperan sebagai mineral pengisi dalam campuran beton aspal, yang meningkatkan kekakuan campuran tersebut, membantu mendistribusikan dan mereduksi tegangan akibat beban kendaraan, sehingga mencegah deformasi pada permukaan jalan (Farida & Rachmadiba, 2023).

Selain cangkang kerang tiram plastik juga memiliki potensi sebagai bahan tambah pada campuran pada perkerasan jalan. Menurut data Sistem Pengolahan Sampah Nasional (SIPSN) Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) 2024, timbunan sampah nasional dari 221 kabupaten/kota mencapai 19,3 juta ton. Limbah plastik merupakan salah satu jenis limbah yang paling banyak ditemukan di seluruh dunia, terutama plastik dengan jenis polimer berbasis *polyethylene* (PE). Salah satu jenis plastik PE yang umum digunakan adalah LDPE (*Low-Density Polyethylene*). Adapun contoh plastik LDPE yakni kantong laundry, kantong kemasan makanan, botol plastik, dan lain sebagainya.

Limbah plastik dapat digunakan sebagai bahan tambahan dalam campuran aspal beton karena plastik mampu melapisi agregat, mengurangi porositas, penyerapan air, dan memperbaiki sifat pengikatan campuran. (Sulistyo et al., (2023). Hal tersebut dikarenakan plastik memiliki titik leleh yang relatif rendah, terutama LDPE, dapat mudah tercampur dengan aspal (Ma et al., 2021). Ketika Limbah plastik dengan titik leleh di bawah suhu produksi campuran digunakan untuk modifikasi campuran, plastik tersebut akan meleleh pada saat pencampuran dengan agregat panas dan menghasilkan agregat berlapis plastik dengan karakteristik fisik dan permukaan yang berpotensi lebih baik (Modarres dan Hamedi, 2014). Partikel LDPE masih ada dalam bentuk padat ketika pengikat aspal menjadi lunak pada suhu perkerasan yang tinggi, sehingga meningkatkan ketahanan terhadap rutting pada campuran aspal yang telah dimodifikasi. Dalam skala mikro, kandungan plastik tertentu dapat bergabung dengan aspal untuk membentuk jaringan yang mencegah pergerakan rantai molekul aspal (Dalhat & Al-Abdul Wahhab, 2017).

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi potensi penggunaan limbah *Oyster Shell* dan limbah plastik LDPE sebagai bahan tambahan dalam campuran perkerasan jalan aspal beton, khususnya pada jenis AC-WC untuk meningkatkan kualitas dan keberlanjutan konstruksi jalan. Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini melibatkan pengujian laboratorium terhadap karakteristik campuran aspal beton yang dimodifikasi dengan *Oyster Shell* dan limbah plastik LDPE, serta parameter dari campuran tersebut, seperti stabilitas, kelelahan, rongga dalam campuran, rongga diantara material, dan rongga terisi aspal.

2 METODE PENELITIAN

Peneliti melakukan pendekatan studi dengan menggunakan metode eksperimen untuk menemukan dan memahami dampak dari perlakuan khusus terhadap variabel lain dibawah pengaturan yang terkendali dengan baik. Seluruh tahapan pembuatan benda uji, pengujian kadar aspal, serta pengujian Marshall dilaksanakan di Laboratorium Transportasi Jalan Universitas Islam Sultan Agung (UNISSULA) Semarang. Pengujian yang dilakukan meliputi uji kadar aspal, analisa saringan serta pengujian Marshall untuk menilai kualitas campuran berdasarkan beberapa parameter seperti stabilitas, kelelahan (*flow*), rongga udara (VIM) dan *voids in mineral aggregate* (VMA).

a. Aspal

Pada pemeriksaan aspal ini dilakukan beberapa pengujian pada aspal diantaranya yaitu pengujian penetrasi, pengujian titik lembek, dan pengujian berat jenis aspal. Aspal yang digunakan sebagai bahan pengikat pada pembuatan benda uji campuran aspal dalam penelitian ini adalah aspal Pertamina Penetrasi 60/70.

Tabel 1. Pengujian Aspal

No.	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Hasil Pengujian	Spesifikasi	Satuan
1	Penetrasi pada (25°C, 5 detik)	SNI-06-2456-1991	64,2	60-70	0.1 mm
2	Titik lembek	SNI-06-2434-1991	56,25	≥ 48	°C
3	Berat Jenis (25°C)	SNI-06-2441-1991	1.033	≥ 1,0	Gr/ml

Sumber : Hasil Penelitian, 2024

b. Agregat

Material agregat yang digunakan berasal dari PT Mohandas Oeloeng Kendal. Dalam pembuatan aspal beton (laston) AC-WC, komponen utama yang membentuk campuran adalah aspal dan agregat. Untuk menentukan gradasi agregat pada lapisan AC-WC (Asphalt Concrete – Wearing Course), terdapat agregat kasar yang terdiri dari batu pecah dengan ukuran $\frac{3}{4}$ dan $\frac{1}{2}$, agregat halus berupa abu batu dan pasir, serta bahan pengisi seperti filler. Agar aspal beton yang dihasilkan memiliki kualitas yang baik, perlu dilakukan pemeriksaan terhadap gradasi agregat terlebih dahulu, yang harus memenuhi spesifikasi umum Bina Marga 2020 (Revisi 1) dan sesuai dengan acuan (SNI-ASTM-C136-2012). Hasil dari percobaan analisis saringan gradasi agregat dapat dilihat pada Tabel berikut.

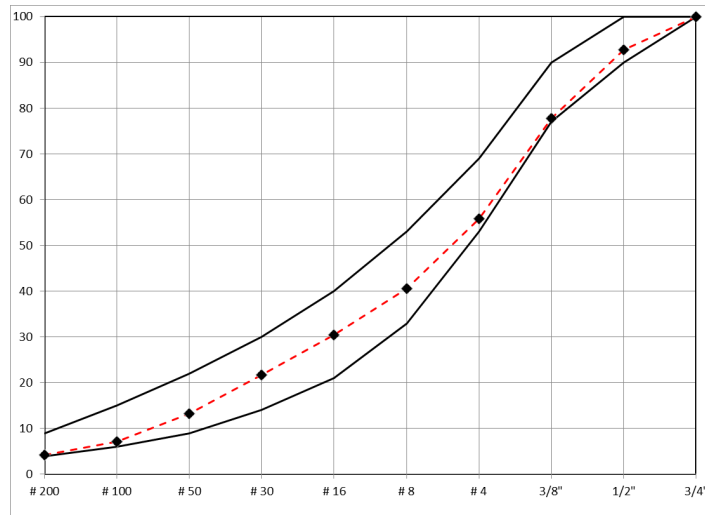
Tabel 2. Pemeriksaan Pengujian Laboratorium

No Saringan	Spesifikasi		Prosentase Lolos (Kombinasi)
	Batas Atas	Batas Bawah	
# 200	7	3	4.16
# 100	12	5	7.06
# 50	18	8	13.19
# 30	25	12	21.63
# 16	35	23	30.43

# 8	48	33	40.53
# 4	65	50	55.78
3/8"	80	70	77.74
1/2"	95.0	85	92.78
3/4"	100.0	100	100.00
1"	100.0	100.00	100.00

Sumber : Hasil Penelitian, 2024

Berdasarkan hasil tabel diatas didapatkan hasil total campura gradasi kombinasi agregat yang tidak boleh melampaui batas maksimal dan minimal dari spesifikasi yang sudah ditetapkan, hasil grafik kombinasi gradasi agregat dan batas spesifikasi dapat dilihat pada grafik di bawah ini.



Gambar 1. Grafik Kombinasi Agregat

Sumber : Hasil Penelitian, 2024

c. Plastik LDPE

Salah satu jenis plastik PE yang umum digunakan adalah LDPE (*Low-Density Polyethylene*). Adapun contoh plastik LDPE yakni kantong laundry, kantong kemasan makanan, botol plastik, dan lain sebagainya. Limbah plastik yang digunakan dalam penelitian ini juga didapatkan dari limbah rumah tangga, jenis plastik yang digunakan yaitu plastik LDPE berupa plastik kemasan sekali pakai. Limbah plastik difungsikan sebagai bahan tambah dalam campuran aspal panas. Plastik digunting menjadi bagian yang lebih kecil agar dapat tercampur dalam aspal secara merata dan tidak menggumpal pada 1 bagian.

d. Oyster Shell

Oyster atau kerang tiram termasuk dalam kelompok hewan moluska, yang memiliki tubuh lunak dan dilindungi oleh cangkang keras. pengumpulan limbah cangkang kerang tiram didapatkan dari pesisir pantai di kabupaten kendal yaitu pantai ngebum. Cangkang kerang tiram tersebut kemudian dihaluskan hingga lolos saringan no.200. hal tersebut dilakukan agar abu cangkang kerang tiram dapat tercampur dalam campuran aspal panas secara merata.

e. JMD dengan penambahan cangkang kerang tiram dan ldpe

Penelitian ini menggunakan variasi penambahan *Oyster Shell Powder* dengan presentase 0%,2%,4%,6% dan penambahan limbah LDPE pada campuran AC-WC bergradasi halus dengan presentase 0%, 3%, 6%. Masing – masing variasi campuran terdiri dari 3 buah benda uji sehingga total campuran modifikasi sebanyak 36 benda uji seperti tertera pada tabel dibawah.

Tabel 3. Variasi dan Sampel Benda Uji

No.	Variasi	Benda Uji
1	C0L0 (<i>Oyster Shell</i> 0%, LDPE 0%)	3
2	C2L0 (<i>Oyster Shell</i> 2%, LDPE 0%)	3
3	C4L0 (<i>Oyster Shell</i> 4%, LDPE 0%)	3
4	C6L0 (<i>Oyster Shell</i> 6%, LDPE 0%)	3
5	C0L3 (<i>Oyster Shell</i> 0%, LDPE 3%)	3
6	C2L3 (<i>Oyster Shell</i> 2%, LDPE 3%)	3
7	C4L3 (<i>Oyster Shell</i> 4%, LDPE 3%)	3
8	C6L3 (<i>Oyster Shell</i> 6%, LDPE 3%)	3
9	C0L6 (<i>Oyster Shell</i> 0%, LDPE 6%)	3
10	C2L6 (<i>Oyster Shell</i> 2%, LDPE 6%)	3
11	C4L6 (<i>Oyster Shell</i> 4%, LDPE 6%)	3
12	C6L6 (<i>Oyster Shell</i> 6%, LDPE 6%)	3
Total Sampel		36

f. Marshall Test

Setelah menentukan Job Mix Design (JMD) dan formula desain campuran, dilakukan pembuatan benda uji aspal modifikasi sebanyak 12 variasi, dengan setiap variasi terdiri dari 3 benda uji, sehingga totalnya mencapai 36 benda uji. Setiap benda uji ditimbang dalam keadaan kering. Selanjutnya, benda uji direndam selama 24 jam, kemudian ditimbang kembali dalam keadaan kering bebas air (SSD). Setelah memperoleh berat benda uji, dilakukan perendaman dalam waterbath (pemanasan cairan dengan merendamnya dalam air yang sudah dipanaskan sebelumnya) pada suhu 60°C selama 60 menit.

Semua sampel benda uji direndam dalam waterbath dan langsung diuji menggunakan alat Marshall untuk memperoleh nilai stabilitas dan *flow* (kelelehan). Pemeriksaan Marshall bertujuan untuk mendapatkan parameter aspal, yang meliputi VMA (*Void in Mineral Aggregate*), VIM (*Void in Mixture*), VFB (*Void Filled Bitumen*), stabilitas, *flow*, dan MQ (*Marshall Quotient*).

Hasil pemeriksaan dan grafik dari semua parameter Marshall Test dapat dilihat pada tabel dan rekap berikut. Parameter yang dicantumkan adalah VMA, VIM, VFB, stabilitas, *flow*, dan MQ yang telah memenuhi persyaratan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2020 (revisi 1).

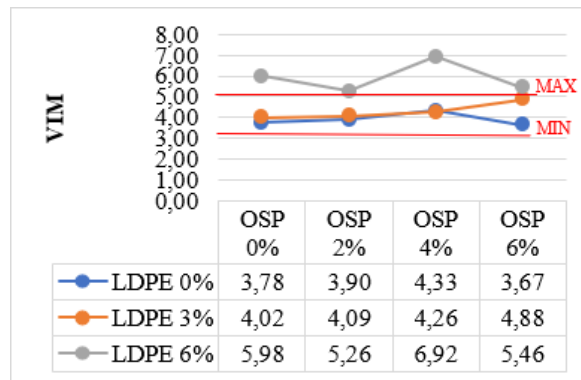
3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian yang didapatkan berasal dari pengujian marshall yang menghasilkan parameter stabilitas dan kelelehan, sehingga kemudian dapat dihitung paramater lainnya berupa VMA (*Void in Mineral Aggregate*), VIM (*Void in Mixture*), VFB (*Void Filled Bitumen*), stabilitas, *flow*, dan MQ (*Marshall Quotient*).

Tabel 4. Hasil Uji Marshall Test

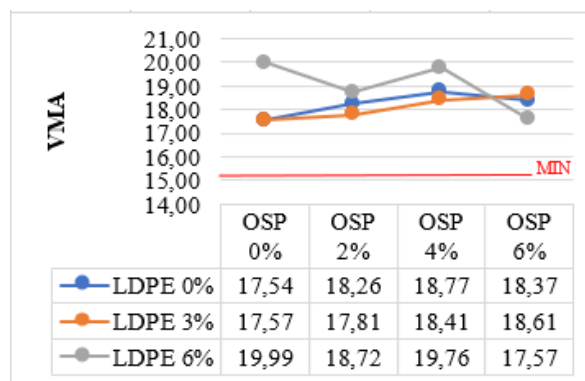
Karakteristik <i>Marshall</i> Campuran Beraspal	VIM	VMA	VFA	STABILITAS	FLOW	MQ	
	(%)	(%)	(%)	(Kg)	mm	(Kg/mm)	
Spesifikasi	Min	3	15	65	800	2	250
	Maks	5	-	-	-	4	-
C0L0	3.78	17.54	77.79	1122.28	3.48	327.24	
C2L0	3.90	18.26	78.08	915.17	3.20	294.75	
C4L0	4.33	18.77	76.60	919.98	3.70	249.07	
C6L0	3.67	18.37	79.63	953.70	2.93	333.00	
C0L3	4.02	17.57	76.53	1030.77	3.27	315.50	
C2L3	4.09	17.81	76.41	1661.75	3.48	481.28	
C4L3	4.26	18.41	76.45	1555.78	3.17	469.90	
C6L3	4.88	18.61	73.54	1329.40	3.32	402.14	
C0L6	5.98	19.99	71.88	1006.68	3.44	293.08	
C2L6	5.26	18.72	73.19	1497.98	4.15	384.93	
C4L6	6.92	19.76	65.98	867.00	3.71	234.80	
C6L6	5.46	17.57	68.86	2779.22	3.94	705.62	

Sumber : Hasil Penelitian, 2024



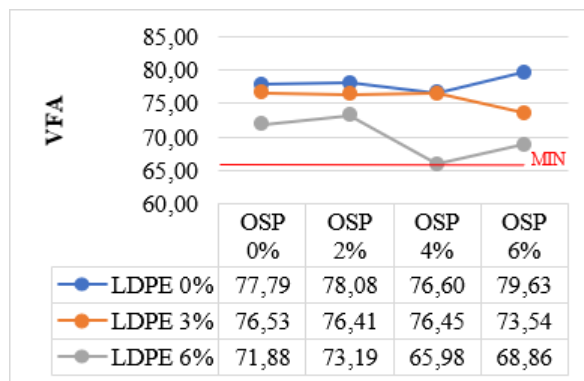
Grafik 4. 1 Nilai VIM

Berdasarkan **Grafik 4.21** hanya pada kombinasi LDPE 0% dan 3% dengan *Oyster Shell Powder* 0%, 2%, 4%, dan 6% yang memiliki hasil nilai rata-rata VIM yang memenuhi spesifikasi Bina Marga dengan nilai batas VIM 3%-5%.



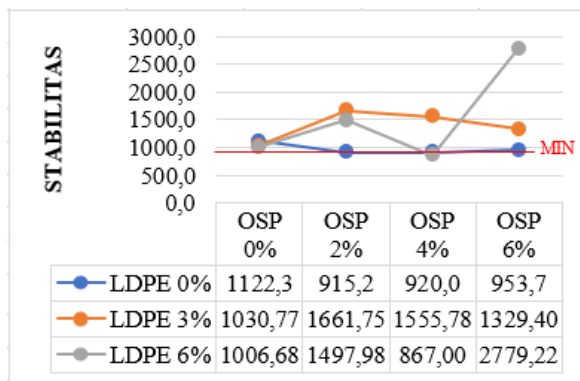
Grafik 4. 2.Nilai VMA

Hasil pengujian Marshall untuk nilai VMA (*Void in Mineral Aggregate*) menunjukkan nilai rata-rata yang bervariasi. Berdasarkan spesifikasi Bina Marga yang menetapkan batas minimum VMA 15%, semua variasi memenuhi spesifikasi.



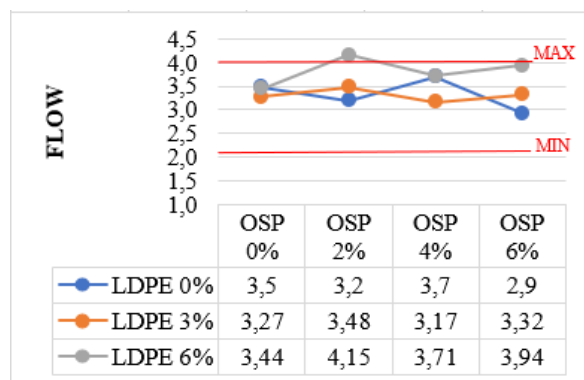
Grafik 4. 3. Nilai VFA

Berdasarkan **Grafik 4.23** secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi campuran dengan LDPE 0% menghasilkan nilai VFA menunjukkan variasi dengan nilai VFA diatas batas minimum yaitu 65%.



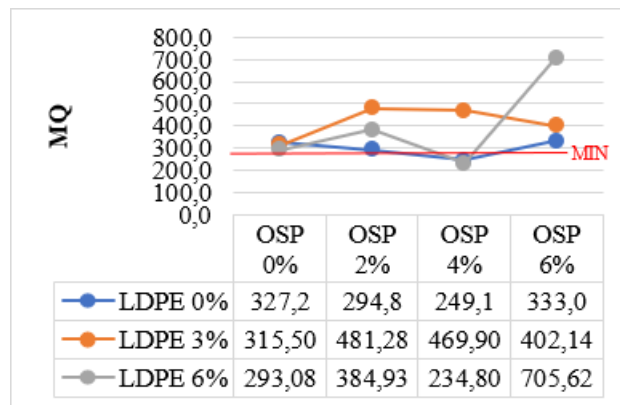
Grafik 4. 4. Nilai Stabilitas

Berdasarkan **Grafik 4.24** hasil pengujian Marshall untuk nilai stabilitas menunjukkan semua variasi memenuhi spesifikasi Bina Marga dengan nilai stabilitas yaitu diatas 800 kg.



Grafik 4. 5. Nilai Flow

Berdasarkan **Grafik 4.25** hasil pengujian Marshall untuk nilai kelelahan (*flow*) menunjukkan sebagian besar nilai memenuhi spesifikasi Bina Marga dengan batas nilai *flow* yaitu 2 mm - 4 mm kecuali pada variasi dengan campuran OSP 2% dan LDPE 6% dengan nilai kelelahan (*flow*) diatas 4 mm.



Grafik 4. 6. Nilai Marshall Quotient

Berdasarkan **Grafik 4.26** hasil pengujian Marshall untuk nilai *Marshall Quotient* menunjukkan sebagian besar memenuhi spesifikasi Bina Marga dengan batas minimum nilai *Marshall Quotient* yaitu 250 kg/mm kecuali pada variasi C4L0 (OSP 4% & LDPE 0%) dan C4L6 (OSP 4% & LDPE 6%) tidak memenuhi spesifikasi.

4 KESIMPULAN

Berdasarkan analisis data yang dilakukan dalam penelitian ini, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- Hasil *job mix formula* pada pengujian marshall yang terbaik dan memenuhi semua parameter dari pemanfaatan bahan tambah berupa limbah plastik LDPE (*Low Density Polyethylene*) dan *Oyster Shell* yaitu pada komposisi LDPE 3% dengan *Oyster Shell Powder* 0%, 2%, 4%, dan 6%,
- Hasil nilai stabilitas pengujian marshall masih memenuhi standar spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 revisi ke -2 dimana nilai hasil *Marshall* di atas 800 kg. Nilai stabilitas terbaik dari pencampuran *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) dengan limbah plastik LDPE (*Low Density Polyethylene*) dan *Oyster Shell Powder* yaitu pada komposisi *Oyster Shell Powder* 6% dan LDPE 6% dengan nilai stabilitas 2779,22 kg. Dengan nilai stabilitas *Marshall* terendah berada di komposisi campuran *Oyster Shell Powder* 4% dan LDPE 6% dengan nilai rata-rata stabilitas adalah 867 kg.

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa saran untuk membuat hasil yang lebih akurat pada penelitian berikutnya :

- Berdasarkan hasil penelitian ini, ada peluang untuk mencoba variasi *Oyster Shell Powder* yang lebih beragam dengan menggunakan persentase bahan yang lebih tinggi agar dapat menghasilkan campuran yang lebih beragam.
- Pembuatan benda uji menggunakan alat tumbuk sebaiknya tidak dilakukan secara manual untuk menghindari ketidak konsistensian pada saat menumbukkan. Disarankan untuk menggunakan alat kompaktor marshall

otomatis yang dapat memastikan jumlah tumbukan dan tekanan tumbukan yang sesuai standar dan sama di setiap tumbukan nya sehingga hasil pengujian nya lebih sesuai dan sama rata.

- c. Penting untuk melakukan pemeriksaan menyeluruh pada alat yang digunakan agar tidak terjadi kesalahan yang dapat mempengaruhi hasil pengambilan data. Dengan memastikan bahwa alat dalam kondisi baik dan berfungsi dengan tepat, kita dapat mengurangi kemungkinan adanya gangguan yang dapat mengarah pada ketidakakuratan data yang diperoleh selama pengujian.
- d. Sebelum melaksanakan pengujian Marshall Test, sangat disarankan untuk melakukan proses kalibrasi pada mesin yang akan digunakan. Kalibrasi yang tepat akan memastikan bahwa mesin bekerja sesuai dengan standar yang ditetapkan, sehingga pengambilan data dapat berlangsung dengan akurat dan hasil yang diperoleh dapat diandalkan.

5 UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang yang telah memberikan kesempatan dan fasilitas untuk melaksanakan penelitian ini. Terima kasih juga kepada Dr. Ir. Juny Andry Suilstyo, S.T., M.T. yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan dukungan selama proses penelitian, serta memberikan saran yang berharga dalam setiap tahap penelitian ini. Terima kasih kepada Lab Trsnportasi Unissula yang telah menyediakan fasilitas dan peralatan yang sangat berguna dalam pelaksanaan eksperimen dan analisis data. Semoga penelitian ini dapat memberikan kontribusi yang bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, serta bagi kemajuan pembangunan infrastruktur di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bellei, P., Torres, I., Solstad, R., & Flores-Colen, I. (2023). Potential Use of Oyster Shell Waste in the Composition of Construction Composites: A Review. In *Buildings* (Vol. 13, Issue 6). MDPI. <https://doi.org/10.3390/buildings13061546>
- [2] Dalhat, M. A., & Al-Abdul Wahhab, H. I. (2017). Performance of recycled plastic waste modified asphalt binder in Saudi Arabia. *International Journal of Pavement Engineering*, 18(4), 349–357. <https://doi.org/10.1080/10298436.2015.1088150>.
- [3] Farida, I., & Rachmadiba, P. (2023). Pengaruh Filler Abu Cangkang Kerang Terhadap Campuran Aspal Daerah Pesisir Pantai. *Teras Jurnal : Jurnal Teknik Sipil*, 13(2), 365. <https://doi.org/10.29103/tj.v13i2.896>
- [4] Ma, Y., Zhou, H., Jiang, X., Polaczyk, P., Xiao, R., Zhang, M., & Huang, B. (2021). The utilization of waste plastics in asphalt pavements: A review. In *Cleaner Materials* (Vol. 2). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.clema.2021.100031>
- [5] Ruslan, H. N., Muthusamy, K., Syed Mohsin, S. M., Jose, R., & Omar, R. (2021). Oyster shell waste as a concrete ingredient: A review. *Materials Today: Proceedings*, 48, 713–719. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.208>
- [6] Sulistyono, J. A., Pratikso, P., & Mudiyo, R. (2023). Performance of Asphalt Wearing Course Against The Immersion Effect Of Tide Water (Rob) With Added Materials Polyethylene And Fine Aggregate Slag. *Journal of Advanced Civil and Environmental Engineering*, 6(1), 24–32. <https://doi.org/10.30659/jacee.6.1.24-32>