

Pemanfaatan Plastik *Low Density Polyethylene* (LDPE) dan Arang Tempurung Kelapa Terhadap Parameter Marshall Sebagai Substitusi Sebagian Aspal Pada Lapisan AC-WC

Wesli¹⁾, Mhd. Afrizam Syahputra²⁾, Said Jalalul Akbar³⁾, Muthmainnah⁴⁾
^{1, 2, 3, 4)} Jurusan Teknik Sipil Universitas Malikussaleh, Lhokseumawe, Indonesia
Email: wesli@unimal.ac.id¹⁾, afrizam.180110072@mhs.unimal.ac.id²⁾,
saidjalalul.akbar@unimal.ac.id³⁾, muthmainnah.muthe@unimal.ac.id⁴⁾

DOI: <http://dx.doi.org/10.29103/tj.v14i2.1149>

(Received: 09 July 2024 / Revised: 15 August 2024 / Accepted: 08 September 2024)

Abstrak

Sampah plastik saat ini sudah menjadi suatu permasalahan yang sangat umum di lingkungan hidup, upaya pengurangan dan pencegahan telah banyak dilakukan, namun hasil yang diperoleh tidak sesuai dengan pertumbuhan dan penggunaan yang terus meningkat khususnya plastik yang tidak dikelola dengan baik. Salah satu upaya yang harus dilakukan untuk mengurangi limbah plastik adalah dengan memanfaatkan *viscoelasticity* plastik dan dikombinasikan dengan karbon arang tempurung kelapa serta material tersebut akan dimanfaatkan sebagai bahan pengganti sebagian aspal pada lapisan AC-WC. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui besarnya variasi campuran plastik LDPE dan arang tempurung kelapa yang dapat dimanfaatkan untuk memenuhi parameter *marshall* pada lapisan AC-WC. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimental yang bersifat deduktif. Hasil penelitian yang telah dilakukan dengan kadar variasi plastik LDPE 5%, 10%, 15% dikombinasikan dengan arang tempurung kelapa 5%, 10% dan 15% hasil yang diperoleh dari pengujian *marshall* untuk variasi 10%, VIM dan VFA tidak memenuhi, variasi 20% VIM dan VFA tidak memenuhi dan variasi 30% hanya *flow* yang tidak memenuhi spesifikasi yang disyaratkan oleh Bina Marga Tahun 2018 Revisi II, sehingga dapat disimpulkan bahwa plastik LDPE dan arang tempurung kelapa tidak dapat dimanfaatkan sebagai substitusi sebagian aspal pada variasi 10%, 20% dan 30%, hal tersebut disebabkan karena seluruh variasi campuran tidak memenuhi parameter *marshall*.

Kata kunci: *Arang Tempurung Kelapa, Plastik LDPE, Parameter Marshall, Substitusi Sebagian Aspal*

Abstract

Plastic waste has now become a very common problem in the environment, many reduction and prevention efforts have been carried out, but the results obtained are not in line with the growth and increasing use, especially plastics that are not managed properly. One of the efforts that must be made to reduce plastic waste is to utilize the *viscoelasticity* of the plastic and combined with coconut shell charcoal carbon and the material will be used as a substitute for part of the asphalt in the AC-WC layer. The purpose of this study was to determine the magnitude of variations in the mixture of LDPE plastic and coconut shell charcoal that can be used to meet *marshall* parameters in the AC-WC layer. The method used in this study is an experimental method that is deductive. The results of studies that have been carried out with LDPE plastic variation levels of 5%, 10%, 15% combined with coconut shell charcoal 5%, 10% and 15% results obtained from *marshall* testing for 10% variation, VIM and VFA are not eligible, 20% variation in VIM and VFA are not qualified and 30% variation only *flow* does not meet the specifications required by Bina Marga 2018 Revision II, so it can be concluded that LDPE plastic and coconut

shell charcoal cannot be used as a partial substitution of asphalt at variations of 10%, 20% and 30%, this is because the entire variation of the mixture does not meet the parameters of marshalls.

Keywords: *Coconut Shell Charcoal, LDPE Plastic, Marshall Parameters, Partial Substitution*

1. Latar Belakang

Jalan raya jenis perkerasan lentur (*flexible pavement*) merupakan jenis perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan untuk mengikat agregat, karena aspal merupakan material yang bersifat *viscoelasticity* (elastis) yang mengandung senyawa hidrokarbon yang berwarna hitam pekat dan cokelat gelap yang berasal dari berbagai unsur seperti *resins*, *oils* dan *asphalthenes*. Senyawa hidrokarbon merupakan salah satu unsur senyawa yang dasar dan utama dari bahan penyusun aspal (Sukirman, 2003).

Karbon merupakan suatu unsur kimia yang paling mendominasi di dalam kandungan aspal selain karbon di dalam aspal juga terdapat sifat *viscoelasticity*. Unsur-unsur tersebut berfungsi sebagai pengikat dan perekat. Karbon umumnya dapat ditemukan pada arang tempurung kelapa, batu bara, baterai dan lainnya, sedangkan sifat *viscoelasticity* dapat ditemukan pada plastik khususnya plastik *Low Density Polyethylene* (LDPE), getah pinus, karet dan lainnya. Pada penelitian ini menggunakan karbon yang berasal dari arang tempurung kelapa sedangkan sifat *viscoelasticity* dari plastik LDPE. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui apakah karbon dan *viscoelasticity* dari luar dapat dimanfaatkan serta menggantikan kinerja karbon dan *viscoelasticity* yang terkandung di dalam aspal.

Limbah yang berada di Indonesia sudah sangat menumpuk khususnya limbah plastik *Low Density Polyethylene* (LDPE) (Purwaningrum, 2016). Permasalahan sampah plastik saat ini sudah menjadi suatu permasalahan yang sangat umum di lingkungan hidup, upaya pengurangan dan pencegahan telah banyak dilakukan, namun hasil yang diperoleh tidak sesuai dengan pertumbuhan dan penggunaan yang terus meningkat khususnya plastik yang tidak terkelola dengan baik. Pada penelitian ini upaya yang dilakukan untuk mengurangi limbah plastik adalah dengan cara memanfaatkan *viscoelasticity* plastik dan dikombinasikan dengan karbon arang tempurung kelapa sebagai sebagai bahan pengganti sebagian aspal pada lapisan AC-WC.

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui besarnya variasi campuran plastik LDPE dan arang tempurung kelapa yang memenuhi parameter *marshall* dan dapat dimanfaatkan untuk lapisan AC-WC

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan dua bahan yaitu plastik LDPE dan arang tempurung kelapa yang dikombinasikan sebagai substitusi sebagian aspal pada lapisan AC-WC dengan variasi 10% (plastik LDPE 5% dan arang tempurung kelapa 5%), variasi 20% (plastik LDPE 10% dan arang tempurung kelapa 10%) dan variasi 30% (plastik LDPE 15% dan arang tempurung kelapa 15%).

2.1 Campuran Aspal Beton

Campuran aspal beton merupakan campuran yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus dan *filler* yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikatnya (Sukirman, 2003). Sifat-sifat campuran aspal beton sesuai standar Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi II diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Sifat-sifat campuran lapisan aspal beton

Sifat-sifat Campuran	Lapisan Aspal Beton		
	AC-WC	AC-BC	AC-Base
Jumlah tumbukan per bidang	75		112
Rasio partikel lolos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif	Min	0,6	
	Maks	1,6	
Rongga dalam campuran (%)	Min	3,0	
	Maks	5,0	
Rongga dalam agregat (VMA) (%)	Min	15	14
Rongga terisi aspal (%)	Min	65	65
Stabilitas <i>marshall</i> (kg)	Min	800	1.800
	Maks	2	3
Pelelehan (mm)	Min	4	6
	Maks		
Stabilitas <i>marshall</i> sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C	Min	90	
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (refusal)	Min	2	

Sumber: (Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018)

2.2 Arang Tempurung Kelapa (ATK)

ATK yang dipergunakan pada campuran beton aspal harus tumbuk dan disaring untuk mendapatkan ukuran butir yang diinginkan serbuk yang lolos saringan No.5. Arang tempurung kelapa memiliki sifat mengandung senyawa karbon non polar yang sama seperti senyawa karbon aspal (Nur et al., 2017).

Pada suhu 275°C lingo selulosa mulai melepaskan H₂O dan CO₂, disamping itu juga terbentuk arang dan metana. Kandungan arang tempurung kelapa berupa senyawa karbon nonpolar sama seperti senyawa karbon pada aspal (Utomo Nugroho, 2018). Komposisi secara rinci diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Komposisi dan berat jenis serbuk arang tempurung kelapa

Parameter uji	Satuan	Hasil uji
Kadar air	%	3,83
Kadar karbon	%	91,38
Kadar abu	%	4,79
Berat jenis	gr/cm ³	0,5722

Sumber: (Mashuri, 2019)

2.3 Plastik

Plastik merupakan bahan organik yang mempunyai kemampuan untuk dibentuk ke berbagai bentuk, apabila terpapar panas dan tekanan. Plastik dalam

bentuk produk dapat berupa botol dan pembungkus makanan. Komposisi dari material plastik adalah polimer dan zat additive (Purwaningrum, 2016).

Pada penelitian ini menggunakan bahan aditif plastik, yaitu plastik jenis *Low Density Polyethylene* (LDPE). LDPE mempunyai massa jenis antara 0,91- 0,94 g/mL, separuhnya berupa kristalin (50-60%) dan memiliki titik leleh 115°C. LDPE memiliki daya proteksi yang baik terhadap uap air, namun kurang baik terhadap gas lainnya seperti oksigen. Plastik LDPE memiliki sifat yang mudah diproses, kuat, fleksibel, kedap air, permukaan berkilau, tidak jernih tapi tembus cahaya dan melunak pada suhu 70°C.

2.4 Kadar Aspal Optimum

Kadar aspal optimum, yaitu suatu kadar aspal yang memberikan stabilitas tertinggi pada lapis perkerasan, dimana persyaratan yang lainnya juga dipenuhi, seperti nilai VIM, Flow dan sebagainya, hingga pada akhirnya memberi umur pelayanan jalan yang lebih lama.

Dalam penentuan nilai kadar aspal optimum (Pb) maka digunakan persamaan sebagai berikut:

$$Pb = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0.18 (\%Filler) + K \quad (1)$$

di mana:

- Pb = Kadar aspal tengah (%)
- CA = persen agregat tertahan saringan No.4 (%)
- FA = persen agregat lolos saringan No.4 (%)
- K = konstanta 0,5 untuk lapis *asphalt concrete*

2.5 Parameter Marshall

Menurut (Sukirman, 2003), pengujian kinerja beton aspal padat dilakukan melalui pengujian *marshall*, yang dikembangkan pertama kali oleh Bruce Marshall dan diteruskan oleh U.S. Corps Engineer. Hubungan antara ketahanan (stabilitas) dan kelelahan plastis (*flow*) adalah berbanding lurus, semakin besar stabilitas maka semakin besar pula *flow* dan begitu pula sebaliknya. Pengujian *marshall* dapat diketahui dengan menghitung nilai stabilitas sebagai berikut:

$$S = p \times q \times r \quad (2)$$

di mana:

- S = Nilai stabilitas (Kg)
- P = Kalibrasi alat *marshall*
- q = Pembacaan dial stabilitas
- r = Angka koreksi benda uji

nilai *flow* yang didapat dengan membaca dial pada mesin *marshall*, nilai MQ dapat diketahui dengan rumus sebagai berikut:

$$MQ = \frac{N_s}{N_f} \quad (3)$$

di mana:

- MQ = *Marshall Quotient* (kg/mm)
N_s = Nilai stabilitas (kg)
N_f = Nilai *flow* (mm)

VMA (*Void in Material Aggregate*) berfungsi menyelimuti butir-butir agregat di dalam lapisan aspal beton, apabila nilai VMA tidak mencapai syarat minimum bina marga yaitu 15% maka lapisan aspal yang menyelimuti kurang mengikat antara butir agregat sehingga dapat terjadi kerusakan seperti *reveling* dan *striping*.

VIM (*Void In the Mix*) adalah volume pori yang masih tersisa setelah campuran aspal beton dipadatkan, nilai VIM terlalu besar dari yang disyaratkan bina marga yaitu 3,0-5,0% mengakibatkan sedikitnya rongga pada lapisan aspal sehingga aspal akan menjadi rapuh dan mudah retak, apabila nilai VIM yang terlalu kecil maka akan mengakibatkan *bleeding*.

VFA (*Void Filled by Asphalt*) adalah volume pori lapisan beton yang terisi oleh aspal atau biasa disebut selimut aspal, apabila nilai VFA tidak mencapai syarat minimum bina marga yaitu 65% maka semakin sedikit rongga yang terisi aspal sehingga *film* aspal semakin tipis yang mengakibatkan aspal tidak kedap air dan udara. Standar nilai parameter Marshall selengkapnya yang dipersyaratkan seperti diperlihatkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Standar nilai parameter Marshall

No	Kriteria	Spesifikasi
1	VIM (%)	3.0 – 5.0
2	VMA (%)	>14
3	Stabilitas (Kg)	800
4	VFA (%)	>64
5	Flow (mm)	>3
6	MQ (kg/mm)	>300

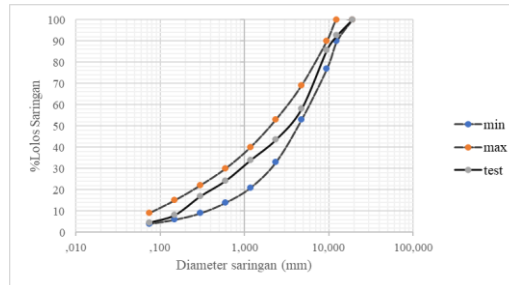
3. Hasil dan Pembahasan

Penyajian dalam hasil penelitian ini adalah hasil yang diperoleh dari sifat fisis material, pengujian *marshall* untuk memperoleh KAO dan pegujian *marshall* dengan substitusi sebagian aspal menggunakan plastik *Low Density Polyethylene* (LDPE) dan Arang Tempurung Kelapa (ATK). Pemeriksaan terhadap material-material dilakukan untuk mengetahui kelayakan agregat yang akan digunakan untuk campuran aspal AC-WC, berikut penyajian sifat fisis berat jenis agregat kasar dan agregat halus diperlihatkan pada Tabel 4.

Tabel 4 Pemeriksaan sifat fisis Agregat

Jenis Pemeriksaan	Agregat Kasal			Agregat Halus		
	Persyaratan		Hasil %	Persyaratan		Hasil %
	Min (%)	Maks (%)		Min (%)	Maks (%)	
Berat jenis curah (<i>bulk</i>)	2,5	-	2,583	2,5	-	2,618
Berat jenis kering permukaan jenuh (<i>ssd</i>)	2,5	-	2,633	2,5	-	2,641
Berat jenis semu (<i>apparent</i>)	2,5	-	2,718	2,5	-	2,679
Penyerapan air (absorpsi)	-	3	1,916	-	3	0,874

Setelah memperoleh data-data dari pemeriksaan sifat fisis agregat dengan hasil pemeriksaan seluruh agregat telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi II, sehingga diperoleh gradasi agregat menerus sesuai dengan (Hermanus et al., 2015), untuk gradasi menerus diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Grafik gradasi campuran agregat

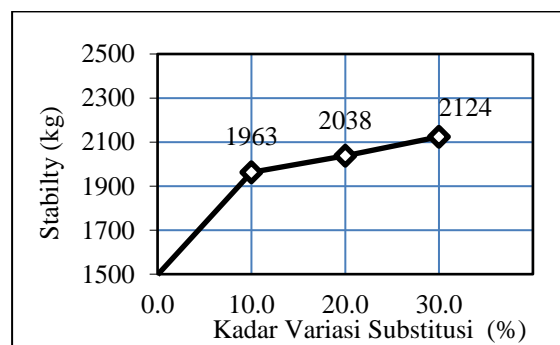
Sebelum melakukan perencanaan benda uji perlu dilakukannya penentuan kadar aspal tengah (Pb) dengan persamaan (1) dan hasilnya 4,84% dibulatkan menjadi 5%

Hasil dari nilai parameter *marshall* yang memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi II yaitu pada kadar aspal 6% diperlihatkan pada Tabel 5.

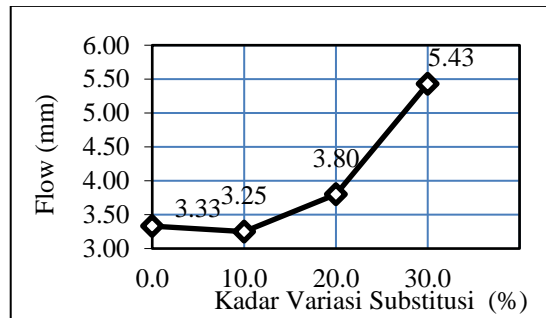
Tabel 5 Hasil pengujian parameter marshall KAO

No	Kriteria	Spesifikasi	Kadar Aspal				
			4%	4,5%	5%	5,5%	6%
1	Density	-	—————▲—————				
2	Stability	Min 15	—————				
3	Flow	3,0 - 5,0	—————				
4	VMA	Min 65	—————				
5	VIM	Min 800	—————				
6	VFA	2,0 – 4,0	—————				
7	MQ	Min 250	—————				

Setelah memperoleh kadar aspal yang akan digunakan dalam pembuatan benda uji variasi plastik LDPE dan ATK, maka diperoleh nilai dari hasil pengujian parameter *marshall* dengan menggunakan bahan substitusi sebagian diperlihatkan pada Gambar 2 sampai dengan Gambar 8.



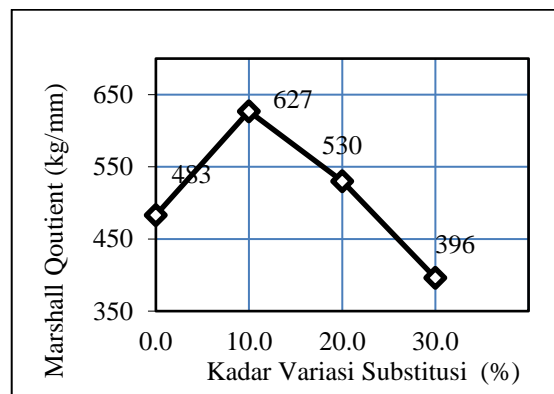
Gambar 1 Grafik *stability*



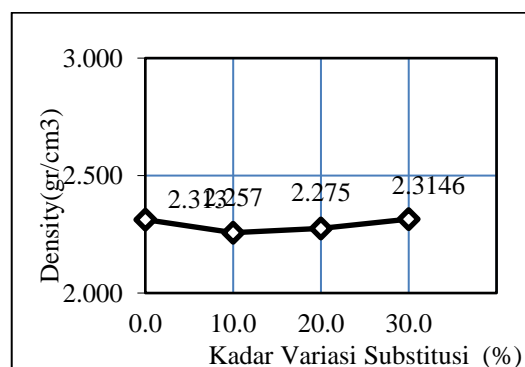
Gambar 3 Grafik *flow*

Nilai stabilitas memiliki nilai minimum sebesar 800 gr dan nilai maksimumnya tidak dibatasi. Untuk nilai stabilitas semua variasi memenuhi spesifikasi umum bina marga tahun 2018. Nilai stabilitas pada penelitian ini semakin meningkat hal itu disebabkan oleh arang tempurung kelapa sesuai dengan penelitian (Mashuri, 2019), (Molvi and Singh, 2022), (Setyarini and Tajudin, 2019), (Akinpelu et al., 2013), (Lubis et al., 2020) dan (Sutandar et al., 2022)

Nilai yang disyaratkan untuk *flow* adalah 2 mm-4 mm. Pada variasi 30% tidak memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 Revisi II. Nilai *flow* pada penelitian ini semakin meningkat hal itu disebabkan oleh arang tempurung kelapa sesuai dengan penelitian (Ramadhansyah, 2019), (Kakisina et al., 2020) dan (Norhafizah and Hainin, 2016).



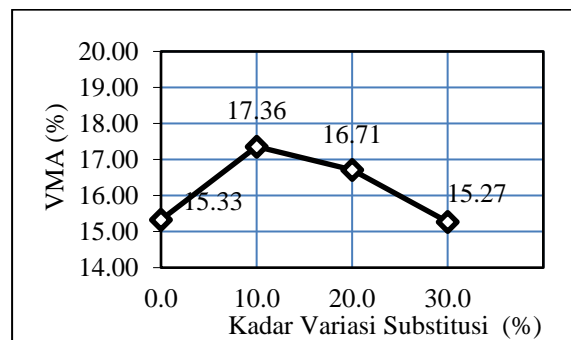
Gambar 4 Grafik MQ



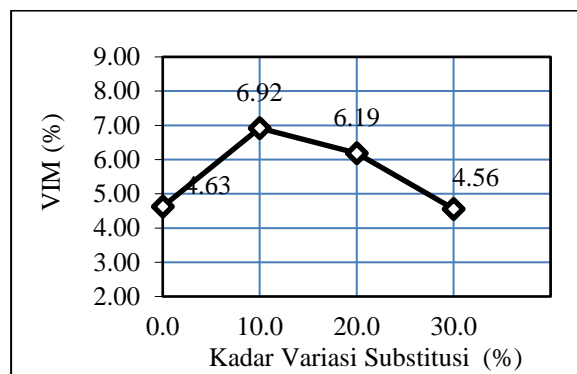
Gambar 5 Grafik *density*

Nilai minimal yang disyaratkan untuk parameter *marshall* MQ adalah 250 gr dan nilai maksimal tidak dibatasi. Seluruh variasi memenuhi spesifikasi. Nilai MQ pada penelitian ini semakin menurun hal itu disebabkan oleh plastik LDPE dan arang tempurung kelapa sesuai dengan (Tanton and Tajudin, 2020), (Erni et al., 2021), (Othman, 2010) dan (Tamalkhani Syammaun et al., 2019)

Nilai minimal dan maksimal pada parameter *density* tidak ada batasan, *density* yang memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 dengan nilai minimal dan batasan yang tidak dibatasi. Nilai *density* pada penelitian ini semakin meningkat hal itu disebabkan oleh arang tempurung kelapa sesuai dengan penelitian (Yacoob et al., 2017), (Jeffry et al., 2022), (Siswadi et al., 2020) dan (Shbeeb, 2007).



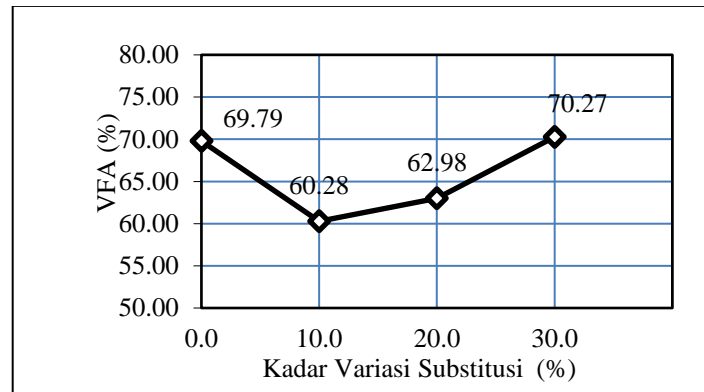
Gambar 6 Grafik VMA



Gambar 7 Grafik VIM

Nilai minimum untuk parameter *marshall* VMA adalah 15% dan untuk maksimumnya tidak dibatasi, pada variasi 0%, 10%, 20%, dan 30 persen memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018. Nilai VMA pada penelitian ini semakin menurun hal itu disebabkan oleh plastik LDPE sesuai dengan penelitian (Susilowati et al., 2021), (A. Al-Mansob et al., 2013) dan (Genet et al., 2021)

Nilai persyaratan pada VIM 3%-5%, yaitu variasi yang tidak memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 terletak pada variasi 10% dan 20%. Nilai VIM pada penelitian ini semakin menurun hal itu disebabkan oleh plastik LDPE sesuai dengan penelitian (Erni et al., 2021), (Refiyanni and Chaira, 2021), (Syammaun et al., 2020) dan (Syammaun et al., 2019).



Gambar 8 Grafik VFA

Nilai minimal VFA adalah 65% sedangkan nilai maksimumnya tidak dibatasi. Variasi yang memenuhi spesifikasi terletak pada variasi 0% dan 30%, sedangkan aspal beton dengan variasi 10% dan 20% tidak memenuhi. Nilai VFA pada penelitian ini semakin meningkat hal itu disebabkan oleh plastik LDPE sesuai dengan penelitian (Razak and Erdiansa, 2016), (Ramadhansyah et al., 2020), (Dubey, 2019), (Fatmawati et al., n.d.) dan (Heydari et al., 2021).

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini diperoleh kesimpulan yaitu pemanfaatan plastik *Low Density Polyethylene* (LDPE) dan Arang Tempurung Kelapa (ATK) sebagai substitusi sebagian aspal dengan variasi 10%, 20% dan 30% menunjukkan hasil yang diperoleh tidak memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018. Pada variasi 10% dan 20% indikator parameter *marshall* yang tidak memenuhi spesifikasi yang disyaratkan yaitu VIM dan VFA, dan pada variasi 30% indikator parameter *marshall* yang tidak memenuhi spesifikasi yang disyaratkan yaitu *flow*, di mana pada variasi ini nilai *flow* melewati batas maksimum dari yang disyaratkan oleh Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018, sehingga dapat disimpulkan bahwa seluruh variasi plastik LDPE dan ATK yang digunakan tidak dapat dimanfaatkan sebagai substitusi sebagian aspal pada lapisan AC-WC.

4.2 Saran

Apabila menggunakan campuran beraspal dengan variasi 10% dan 20% aspal beton akan menghasilkan sifat seperti mudah keropos dan butiran agregat cepat terlepas dari aspal, hal tersebut disebabkan karena nilai VFA dan VIM yang tidak memenuhi batas minimal yang disyaratkan. Pada variasi 30% aspal beton akan menghasilkan sifat seperti mudah terjadinya lendutan atau gelombang akibat cuaca panas yang ekstrim dan repitisi beban yang berlebih, hal tersebut disebabkan karena nilai *flow* melewati batas maksimal. Jika ingin menggunakan perkerasan dengan substitusi sebagian aspal menggunakan bahan plastik LDPE dan ATK dengan variasi 10%, 20%, ataupun 30%, disarankan untuk jalan perkampungan yang lalu lintasnya tidak terlalu padat dan tidak banyak truk lewat.

Daftar Kepustakaan

- A. Al-Mansob, R., Ismail, A., A. Algorafi, M., Hafezi, M.H., Baghini, M.S., 2013. Comparison between Mixtures of Asphalt with Palm Oil Shells and Coconut Shells as Additives. *J. Kejuruter.* 25, 25–31. <https://doi.org/10.17576/jkukm-2015-25-04>
- Akinpelu, M., Dahunsi, B.I., Olafusi, O., Awogboro, O., Quadri, A., 2013. Effect of polythene modified bitumen on properties of hot mix asphalt. *ARPN J. Eng. Appl. Sci.* 8, 290–295.
- Dubey, P., 2019. Utilization of Low Density Plastic Waste in Construction of Flexible Pavement with a Partial Replacement of Bitumen. *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.* 7, 1989–1996. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2019.4362>
- Erni, D.S., Rifqi, M.G., Amin, M.S., 2021. Effect of Low Density Polyethylene Plastic Waste Addition on Laston Mixture Characteristics AC-WC. *J. Appl. Civ. Eng. Infrastruct. Technol.* 2, 7–13.
- Fatmawati, L., Ariyanto, A.S., Supriyadi, P., n.d. The Effect of Using Low Density Polyethylene (LDPE) and High Density Polyethylene (HDPE) Plastic Waste in the Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) Comparison of Marshall Characteristics.
- Genet, M.B., Sendekie, Z.B., Jembere, A.L., 2021. Investigation and optimization of waste LDPE plastic as a modifier of asphalt mix for highway asphalt: Case of Ethiopian roads. *Case Stud. Chem. Environ. Eng.* 4, 100150.
- Hermanus, G., Kaseke, O.H., Jansen, F., 2015. Study of Performance Differences in Hot Paved Mixtures Between Types of Thin Layers of Thin Asphalt Concrete-Coated Wear (Hrs-Wc) Graded Singles with Semi-Paralleled Ones 7.
- Heydari, S., Hajimohammadi, A., Javadi, N.H.S., Khalili, N., 2021. The use of plastic waste in asphalt: A critical review on asphalt mix design and Marshall properties. *Constr. Build. Mater.* 309, 125185.
- Jeffry, S.N.A., Putra Jaya, R., Abdul Hassan, N., Yaacob, H., Mahmud, M.Z.H., Al-Saffar, Z.H., 2022. The influence of nano-carbon from coconut shell ash as modifier on the properties of bitumen. *Road Mater. Pavement Des.* 23, 770–786.
- Kakisina, E.M., Makmur, A., Salim, F.D., 2020. Influence of LDPE Plastic Waste on Asphalt Mixture Soaked in Sea Water, in: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, p. 012026.
- Kementrian Pekerjaan Umum Ditjen Bina Marga, 2018. *General Specifications of Bina Marga*.
- Lubis, A.S., Muis, Z.A., Siregar, N.A., 2020. The effects of low-density polyethylene (LDPE) addition to the characteristics of asphalt mixture, in: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, p. 012063.
- Mashuri, M., 2019. Effect of Coconut Shell Charcoal Powder Use And Variation In Impact Amount On Asphalt Concrete Mixture Characteristics. *MEKTEK* 10.
- Molvi, A.T., Singh, S., 2022. Experimental Investigation of Coconut Shell Charcoal Ash in Bituminous Concrete. *EasyChair*.

- Norhafizah, M., Hainin, M.R., 2016. The effect of coconut shell on engineering properties of porous asphalt mixture. *J. Teknol.* 78.
- Nur, M.F., Imananto, E.I., Prajitno, A., 2017. Utilization of coconut shell charcoal powder as an added material with stone ash filler to improve the performance of asphalt concrete characteristics (AC-WC). *SONDIR*.
- Othman, A.M., 2010. Effect of low-density polyethylene on fracture toughness of asphalt concrete mixtures. *J. Mater. Civ. Eng.* 22, 1019–1024.
- Purwaningrum, P., 2016. Efforts to reduce the generation of plastic waste in the environment. *Indonesian. J. Urban Environ. Technol.* 8, 141–147.
- Ramadhansyah, 2019. Performance of Charcoal Coconut Shell Ash in the Asphalt Mixture under Long Term Aging. *Int. J. Recent Technol. Eng.* 8, 383–387. <https://doi.org/10.35940/ijrte.C1010.1183S319>
- Ramadhansyah, P.J., Masri, K.A., Awang, H., Satar, M., Hainin, M.R., Norhidayah, A.H., Warid, M.M., Yaacob, H., Juraidah, A., 2020. Short term aging effect of asphaltic concrete incorporating charcoal ash from coconut shell, in: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing, p. 012036.
- Razak, B.A., Erdiansa, A., 2016. Characteristics of AC-WC Mixture with the Addition of Low Density Polyethylene (LDPE) Plastic Waste. *INTEK J. Penelit.* 3, 8–14.
- Refiyanni, M., Chaira, C., 2021. Characteristics of Mixed Porus Asphalt with Combination of LDPE, CPO and PEN 60/70. *Int. J. Eng. Sci. Inf. Technol.* 1, 19–24.
- Setyarini, N.L., Tajudin, A., 2019. Characteristics of Asphalt Concrete Mixed Using Aggregates Coated by Low Density Polyethylene (LDPE) Plastic Waste, in: *11th Asia Pacific Transportation and the Environment Conference (APTE 2018)*. Atlantis Press, pp. 12–15.
- Shbeeb, M.T., 2007. The use of polyethylene in hot asphalt mixtures. *Am. J. Appl. Sci.* 4, 390–396.
- Siswadi, A., Saleh, S.M., Darma, Y., 2020. The use of Sabang mountain rocks and substitution of LDPE in the AC-WC mixture with dry method, in: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing, p. 012004.
- Sukirman, S., 2003. *Hot Mix Asphalt Concrete*.
- Susilowati, A., Wiyono, E., Pratikto, P., 2021. Utilization of plastic waste as an added material in hot mix asphalt concrete. *Build Rekaprima Maj. Ilm. Puffer. Sos Engineering. and Hum.* 7, 15–23.
- Sutandar, S., Juniardy, F., Supriyadi, A., Setyabudi, G., Azwansyah, H., Aryanto, A., 2022. Utilization of LDPE Plastic Waste for Mixed AC-WC Asphalt. *Int. J. Sci. Adv.* 3. <https://doi.org/10.51542/ijscia.v3i5.3>
- Syammaun, T., Meillyta, Yati, R., 2020. Effect of coconut-shell ash as filler and plastic bottle as substitution of porous asphalt mixture. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 821, 012015. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/821/1/012015>
- Syammaun, T., Rachman, F., Hidayat, R., 2019. Characteristic of coconut-shell ash as filler and LDPE plastic waste as substitution materials of porous asphalt mixtures. *Int. J. Recent Technol. Eng. IJRTE* 8, 340–344.

- Tamalkhani Syammaun, Firmansyah Rachman, Rifki Hidayat, 2019. Characteristic of Coconut-Shell Ash as Filler and LDPE Plastic Waste as Substitution Materials of Porous Asphalt Mixtures. *Int. J. Recent Technol. Eng.* 8, 340–344. <https://doi.org/10.35940/ijrte.C1003.1183S319>
- Tanton, E., Tajudin, A.N., 2020. Mechanical characteristics of upper laston mixture with the addition of carbon fiber. *JMTS J. Mitra Tek. Sipil* 3, 613.
- Utomo Nugroho, N.-, 2018. Utilization of Coconut Shell Waste as Filler Material in Road Pavement Mixture.
- Yacoob, H., Jaya, R.P., Madzaili, A.H., Hassan, N.A., Hainin, M.R., Nazri, F.M., 2017. Stability properties of asphalt mixture incorporating coconut shell. *J. Fundam. Appl. Sci.* 9, 16–24.