



Pemanfaatan Limbah Plastik dan Fly Ash Pada Campuran Lapisan Perkerasan Jalan

Hasrullah¹, Iif Ahmad Syarif², Fuad Harwadi³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Borneo Tarakan

¹hasrullah.ray@borneo.ac.id

Abstract

The utilization of plastic waste as a substitute for asphalt of the type PET (Polyethylene Terephthalate) is commonly found in food and beverage packaging such as beverage bottles, sauce bottles, and others. The fly ash obtained from the remaining combustion of PLTU is used as a filler in the pavement mixture. The stages of this research were carried out in the form of asphalt testing, aggregate testing, making test objects from a mixture of plastic waste and fly ash and Marshall tests. The mixing of plastic waste with asphalt is carried out by wet method, namely mixing plastic waste into liquid asphalt which is being heated until it becomes a homogeneous mixture. From the test results, the KAO (Optimum Asphalt Content) value on the test specimen in the form of AC-WC laston with pen 60/70 asphalt is 6%, for 10% substitution of plastic waste the KAO value is 7.2%, 20% substitution of plastic waste the KAO value is 7.9%, while the KAO value of 30% plastic waste substitution is 9.6%. The mass of asphalt used in asphalt mixtures with 30% plastic waste is less than that of pen 60/70 asphalt mixtures, but it is able to provide an increase in higher stability values up to 12.30%. In addition to the technical aspects, the utilization of waste plastic is also beneficial from an economic point of view because it reduces the cost of asphalt procurement by 3.47% and saves a budget of 5% per 1 m³. In terms of the environment, it can reduce the accumulation of plastic waste.

Keywords: Asphalt, Fly Ash, Plastic Waste, Marshall Test

Abstrak

Pemanfaatan limbah plastik sebagai bahan substitusi aspal dari jenis PET (*Polyethylene Terephthalate*) banyak ditemukan pada kemasan makanan dan minuman seperti botol minuman, botol saus, dan lainnya. Adapun fly ash diperoleh dari sisa pembakaran PLTU digunakan sebagai bahan pengisi (filler) pada campuran perkerasan. Tahapan penelitian ini dilakukan berupa pengujian aspal, pengujian agregat, pembuatan benda uji dari campuran limbah plastik dan fly ash serta uji Marshall. Pencampuran limbah plastik dengan aspal dilakukan dengan metode basah, yaitu mencampur limbah plastik kedalam aspal cair yang sedang dipanaskan hingga menjadi campuran homogen. Dari hasil pengujian diperoleh nilai KAO (Kadar Aspal Optimum) pada benda uji berupa laston AC-WC dengan aspal pen 60/70 adalah 6%, untuk substitusi 10% limbah plastik nilai KAO sebesar 7,2%, substitusi 20% limbah plastik nilai KAO 7,9%, sedangkan nilai KAO substitusi limbah plastik 30% sebesar 9,6%. Massa aspal yang digunakan pada campuran aspal dengan 30% limbah plastik lebih sedikit dibanding dengan campuran aspal pen 60/70, namun mampu memberikan peningkatan nilai stabilitas yang lebih tinggi sampai 12,30%. Selain dari segi teknis, pemanfaatan limbah plastik juga menguntungkan dari segi ekonomi karena mengurangi biaya pengadaan aspal sebesar 3,47% serta menghemat anggaran sebesar 5% per 1 m³. Dari segi lingkungan, dapat mengurangi penumpukan sampah plastik.

Kata kunci: Aspal, Fly Ash, Limbah Plastik, Uji Marshall.

Diterima Redaksi : 24-11-2022 | Selesai Revisi : 03-05-2023 | Diterbitkan Online : 01-08-2023

1. Pendahuluan

1.1 Latar belakang

Plastik merupakan material yang dipergunakan secara luas dikarenakan sifatnya yang praktis, dapat digunakan untuk sekali pemakaian, ringan, serta harganya murah, sehingga plastik menjadi penyumbang terbesar volume sampah terutama di kota-kota besar. Menurut Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan produksi sampah plastik di Indonesia pada tahun 2019 diperkirakan 9,52

juta ton (14% total sampah) yang ada, dengan estimasi plastik 2,5-5 ton/km. Plastik ini dalam tanah tidak dapat diurai oleh mikroorganisme sehingga menyebabkan berkurangnya mineral dalam tanah. Dampak negatif dari sampah plastik adalah berkurangnya kadar oksigen (O₂) dalam tanah sehingga hewan maupun mikroorganisme tidak dapat hidup dalam area yang mengandung sampah plastik. Adapun abu terbang (*fly ash*) merupakan salah satu residu dari hasil pembakaran batu bara pada



pembangkit listrik. Abu terbang tidak memiliki kemampuan mengikat seperti halnya semen, namun dengan kehadiran air dan ukurannya yang halus, silika oksida (SiO_2) yang dikandung di dalam abu terbang akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida yang terbentuk dari proses hidrasi semen dan menghasilkan zat yang memiliki kemampuan yang mengikat [1].

Al-Hadidiy yang melakukan penelitian tentang evaluasi perkerasan jalan dengan memodifikasi aspal yang ditambahkan polipropilena. Salah satu kesimpulan dari penelitian ini adalah dengan adanya penambahan polipropilena pada campuran aspal, dapat meningkatkan stabilitas campuran bahan perkerasan jalan [2]. Hendrawan, menggunakan plastik bekas jenis HDPE sebagai bahan pengganti sebagian agregat pada lapis tipis aspal pasir (Latasir) menunjukkan bahwa nilai stabilitas tertinggi terjadi pada penggunaan kadar plastik 30% sebesar 317,77 kg sedangkan nilai *Flow* tertinggi pada penggunaan kadar plastik 30% dengan nilai VIM tertinggi pada penggunaan kadar plastik 10% dan nilai VMA tertinggi terjadi pada penggunaan kadar plastic 10% sebesar 34,480% [3]. Anita, melakukan penelitian penggunaan plastic bekas jenis *Polyethylene* (PE) dan HDPE pada campuran Lataston-WC. Hasil penelitian menunjukan bahwa penggunaan kadar plastik PE dan HDPE sebesar 2% menghasilkan *Marshall Quotient* sebesar 669,11 kg/mm dan 770,45 kg/mm serta nilai VMA sebesar 18,81% dan 19,05% [4]. Hal yang sama yang pernah diteliti dan dibuat oleh Rajagopalan Vasudevan seorang Profesor Kimia dari Perguruan Tinggi Thiagarajar, Madurai, Tamil Nadu. Vasudevan mencampurkan agregat yang dipanaskan pada suhu 165°C selama 30-60 detik dengan limbah plastik yang telah dicacah kecil, kemudian bahan ter atau bitumen dipanaskan pada suhu 160°C untuk bisa menghasilkan campuran yang baik [5]. Demikian juga penelitian yang dilakukan oleh Suhardi, dkk yang menambahkan botol plastik pada campuran aspal yang membuktikan bahwa dengan adanya penambahan variasi PET (*Polyethylene Terephthalate*) pada campuran AC-BC (*Asphalt Concrete-Binder Course*) berpengaruh terhadap karakteristik *Marshall*, semakin tinggi kadar penambahan PET (*Polyethylene Terephthalate*) maka nilai stabilitas akan meningkat tetapi untuk nilai kadar rongga dalam campuran semakin tinggi persentasenya [6]. Moghaddam, T. B., Karim, M. R., & Soltani, M. juga membuktikan bahwa campuran aspal modifikasi dengan penambahan variasi PET (*Polyethylene Terephthalate*) dengan uji *Marshall* memberikan ketahanan terhadap deformasi permanen (*rutting*) pada perkerasan [7]. Solobi, A.O, Nwobodo, S.E., & Aladegboye, O. J menyatakan bahwa pembangunan jalan ramah lingkungan yang mendaur ulang limbah PET harus di dorong pemerintah mengingat potensi manfaat lingkungan dan ekonominya [8].

Identifikasi permasalahan dalam penelitian ini adalah bagaimana membuat suatu komposisi optimal limbah plastik yang dapat digunakan sebagai bahan substitusi

aspal pada campuran beton aspal AC (*Asphalt Concrete*) terutama pada lapis aus WC (*Wearing Course*). Limbah plastik yang digunakan adalah *Polyethylene* jenis PETE atau PET (*Polyethylene Terephthalate*) *Polyethylene* jenis PET merupakan jenis plastik yang banyak sekali digunakan di masyarakat sebagai bahan kemasan makanan dan minuman seperti botol minuman, botol soda, botol minyak, botol saus, wadah selai, kotak obat, hingga sisir. Jenis plastik ini hanya bisa digunakan untuk sekali pakai saja, dan karena sifatnya yang ringan, kuat, dan mudah dibentuk

Dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan suatu produk atau desain campuran aspal yang memanfaatkan limbah plastik untuk perkerasan jalan. Selain itu, untuk meminimalkan penggunaan aspal juga sebagai upaya menyelamatkan ekosistem lingkungan dengan mengurangi timbunan limbah plastik.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental di Laboratorium Jalan Raya Universitas Borneo Tarakan. Secara umum metode penelitian dibagi dalam beberapa tahapan sebagai berikut:

a. Pemilihan Limbah Plastik PET

Limbah yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampah plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) yang merupakan polimer sintesis. Limbah PET ini berasal dari sisa botol minuman, pembungkus makanan kemasan plastik dan lainnya Plastik ini dipilih karena sangat mudah didapatkan dan biasanya banyak menumpuk di sekitar kawasan pemukiman, terutama di daerah pesisir pantai.

b. Karakterisasi Aspal Pen 60/70

Aspal yang digunakan dalam penelitian ini adalah aspal produksi Shell yang memiliki nilai penetrasi di antara 60-70 sehingga disebut aspal pen 60/70. Aspal ini tergolong aspal dengan nilai penetrasi rendah. Aspal jenis ini cocok digunakan pada Indonesia yang memiliki iklim tropis sehingga dapat dihindari pelunakan aspal akibat temperatur yang cukup tinggi. Aspal pen 60/70 akan disubstitusi sebagian oleh limbah plastik PET dengan kadar substitusi sebesar 10%, 20% dan 30% dari volume aspal.

c. Karakterisasi Agregat

Agregat yang digunakan meliputi agregat kasar, agregat halus dan *filler*. Agregat ini akan digunakan dalam campuran Laston AC-WC dengan gradasi menerus. Agregat dengan nomor-nomor saringan yang sudah ditentukan akan ditimbang beratnya masing-masing sesuai dengan perhitungan dari perencanaan gradasi agregat. Pengujian karakteristik agregat dilakukan dengan standar SNI.

d. Pembuatan Campuran Homogen Aspal Pen 60/70 dengan Limbah Plastik PET

Metode pencampuran aspal pen 60/70 dengan limbah plastik PET dilakukan dengan metode pencampuran basah. Untuk mempermudah pembuatan sampel

dibuatlah campuran homogen aspal Pen 60/70 dengan limbah plastik PET dalam jumlah besar untuk memenuhi kebutuhan di setiap sampel. Pada tiap variasi substitusi aspal akan dibuat 2.200 gram (untuk substitusi 10% dan 20%) dan 2.500 gram (untuk substitusi 30%) campuran homogen aspal Pen 60/70 dengan limbah plastik PET

e. Pembuatan Benda Uji Campuran AC-WC

Benda uji merupakan campuran Laston AC-WC dengan berat tiap sampel sebesar kurang lebih 1.200 gram dengan bentuk tabung berdiameter 10 cm dan tinggi 64 cm. Untuk mencari KAO dibutuhkan minimal 3 sampel per variasi sehingga dengan 5 variasi presentase agregat dan aspal, 3 variasi substitusi limbah plastik PET terhadap aspal dengan 60 sampel benda uji. Benda uji berupa campuran agregat dan aspal serta limbah plastik PET akan dicampur dengan temperatur pencampuran dan dipadatkan dengan temperatur pemadatan dengan besar berbeda-beda tergantung dari karakteristik viskositas aspal.

Benda uji yang sudah dicampur akan dimasukkan ke dalam cetakan logam berdiameter 10,16 cm dan tinggi 7,62 cm kemudian dipadatkan dengan alat penumbuk sebanyak 75 kali per bidang (standar untuk jalan dengan beban lalu lintas berat). Benda uji lalu didiamkan pada suhu ruang selama 24 jam kemudian dapat dikeluarkan dari cetakan untuk dilakukan pengujian Marshall.

f. Penentuan Kadar Aspal Optimum dengan Metode Marshall

Pengujian Marshall dilakukan untuk mendapatkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) pada setiap variasi substitusi limbah plastik PET sehingga diketahui komposisi paling tepat antara aspal, limbah plastik PET dan agregat. Langkah-langkah dari pengujian Marshall didasarkan pada SNI 06-2489-1991. Benda uji yang sudah dikeluarkan dari cetakan (*mold*) akan diukur tingginya di 4 sisi kemudian ditimbang di dalam udara dengan kondisi kering, di dalam air serta dalam kondisi SSD (*Saturated Surface Dry*) atau kering permukaan jenuh. Dari data tersebut dapat dihitung nilai VIM (rongga dalam campuran), VMA (rongga di antara mineral agregat) serta VFA (rongga terisi aspal) yang dinyatakan dalam persen. Setelah itu benda uji direndam selama 30 menit dalam *water bath* dengan temperatur 60°C lalu siap untuk diuji dengan alat Marshall dengan beban konstan 51 mm/menit untuk menentukan nilai stabilitas dan flow

g. Pengujian Perendaman Marshall

Setelah didapat nilai KAO pada 3 variasi substitusi limbah plastik PET terhadap aspal pen 60/70, dibuatlah kembali benda uji secara rangkap 4 dengan metode sama seperti sebelumnya. Benda uji tersebut akan diuji dengan uji perendaman Marshall untuk mengetahui ketahanan campuran terhadap pengaruh kerusakan oleh air dan panas. Pada 2 benda uji dilakukan perendaman selama 30 menit pada temperatur 60° C kemudian dilakukan uji Marshall. Pada 2 benda uji sisanya dilakukan

perendaman selama 24 jam pada temperatur 60°C kemudian dilakukan pengujian Marshall.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengujian Agregat

Pemeriksaan agregat terdiri dari pemeriksaan agregat kasar, agregat halus dan *filler* berupa *fly ash*. Pemeriksaan agregat kasar meliputi; analisa saringan, pemeriksaan berat jenis, penyerapan, pemeriksaan kadar lumpur atau lempung, pemeriksaan keausan agregat atau abrasi, pemeriksaan keawetan atau *soundness test*. Pemeriksaan agregat halus meliputi analisa saringan, pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air, pemeriksaan kebersihan atau *sand equivalent*, dan pemeriksaan angularitas. Sedangkan untuk pemeriksaan *filler* berupa fly ash dari limbah pabrik meliputi analisa saringan dan pengujian berat jenis. Material yang digunakan harus memenuhi persyaratan yang ditentukan dalam Spesifikasi Umum Campuran Beraspal Panas, Kementerian Pekerjaan Umum Tahun 2018 [9].

Berikut hasil rekapitulasi pemeriksaan agregat kasar, agregat halus, filler dan agregat gabungan.

3.2 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal Pen 60/70

Aspal yang digunakan adalah aspal Pen 60/70 yang diproduksi oleh Shell. Hasil uji karakteristik aspal yang dilakukan di Laboratorium Jalan Raya, Teknik Sipil Universitas Borneo Tarakan (UBT).

3.3 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal Substitusi Limbah Plastik PET

Proses pencampuran antara limbah plastik PET dan aspal dilakukan dengan metode basah, dilakukan secara manual tanpa menggunakan alat pencampur otomatis (*mixer*). Pertama-tama aspal akan dalam kondisi cair akan dipanaskan di wadah pencampur. Aspal akan menjadi lunak atau sangat cair pada suhu di atas 140° C (*glass transition temperature*). Aspal yang dimasukkan ke dalam wadah pencampur ini dimasukkan dalam jumlah massa sekitar seperempat dari total aspal yang dibutuhkan untuk mempermudah pencampuran. Setelah memasukkan aspal dalam wadah pencampuran, limbah plastik PET akan dimasukkan secara bertahap dalam potongan-potongan kecil lalu diaduk dan diberi tekanan oleh batang pengaduk. Polimer dengan ukuran kecil akan memiliki luas permukaan lebih besar dan semakin mudah untuk bercampur dengan aspal (10).

Hasil penelitian terhadap aspal pen 60/70 yang disubstitusi sebagian oleh limbah plastik PET dengan 3 variasi berbeda ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 1 Hasil Uji Karakteristik Aspal Substitusi

Jenis Pengujian	Standar	Persyaratan		Hasil Pengujian
		Min	Maks	
Aspal Substitusi Limbah Plastik PET 10%				
Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI 2456:2011	50	70	63,7
Viskositas 135°C (cst)	SNI 7729:2011	-	-	466
Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	56	-	56,35
Daktalitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	-	-	> 100
Titik Nyala (°C)	SNI 2433:2011	232	-	336
Kelarutan dalam Trichloethylene (%)	RSNI M-04-2004	99	-	99,68
Berat Jenis	SNI 2441:2011	1	-	1,038
Aspal Substitusi Limbah Plastik PET 20%				
Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI 2456:2011	60	70	60,25
Viskositas 135°C (cst)	SNI 7729:2011	300	-	496
Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	48	-	56,75
Daktalitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	100	-	> 100
Titik Nyala (°C)	SNI 2433:2011	232	-	335
Kelarutan dalam Trichloethylene (%)	RSNI M-04-2004	99	-	99,90
Berat Jenis	SNI 2441:2011	1	-	1,035
Aspal Substitusi Limbah Plastik PET 30%				
Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI 2456:2011	50	70	54,7
Viskositas 135°C (cst)	SNI 7729:2011	-	-	554
Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	56	-	56,56
Daktalitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	-	-	> 100
Titik Nyala (°C)	SNI 2433:2011	232	-	333
Kelarutan dalam Trichloethylene (%)	RSNI M-04-2004	99	-	99,64
Berat Jenis	SNI 2441:2011	1	-	1,031

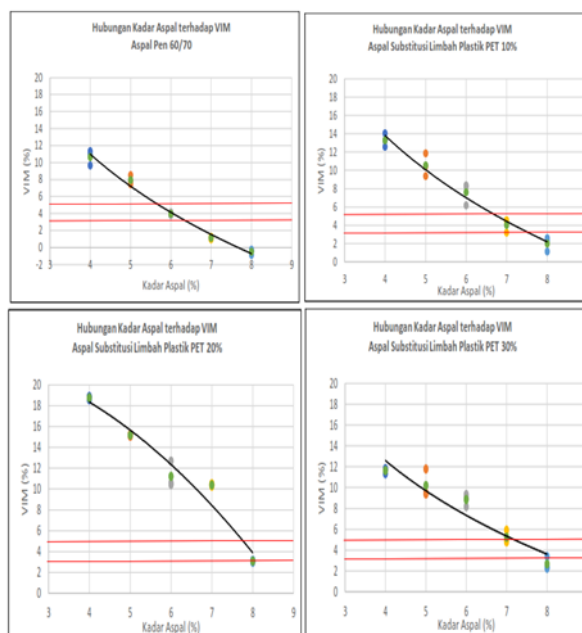
3.4 Hasil Uji Marshall

Pengujian campuran yang dilakukan meliputi pengujian Marshall dan pengujian perendaman Marshall (*Marshall Immersion*). Pada pengujian Marshall pertama akan dicari nilai KAO dengan memperhatikan 5 parameter, yaitu sifat *volumetric* campuran yang meliputi VIM (*Voids in Mixture*), VMA (*Voids in the Mineral Aggregate*) dan VFA (*Voids Filled with Asphalt*), serta nilai stabilitas dan flow. Pada Spesifikasi Kementerian Pekerjaan Umum Revisi 2 Tahun 2018 ada persyaratan mengenai parameter hasil bagi Marshall atau MQ (*Marshall Quotient*) dalam penentuan KAO. MQ merupakan perbandingan antara nilai stabilitas dengan flow, akan tetapi pada Spesifikasi Kementerian Pekerjaan Umum Revisi 2, 2018 tidak terdapat lagi

parameter MQ sehingga pada penelitian kali ini nilai MQ tidak dijadikan parameter penentuan KAO [9].

a. VIM (*Voids in Mixture*)

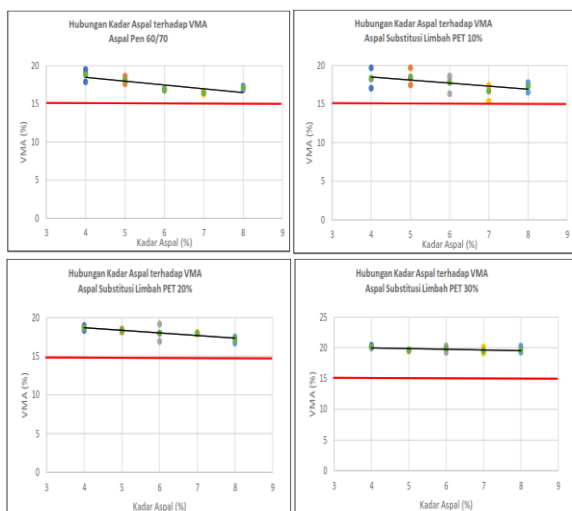
VIM atau rongga dalam campuran merupakan presentase rongga udara yang terdapat di antara butir agregat yang terbungkus aspal. Nilai ini berkaitan dengan durabilitas atau keawetan campuran. Pada **Gambar 1** dapat dilihat hubungan antara VIM terhadap kadar aspal. Pada keempat grafik terlihat bahwa meningkatnya kadar aspal akan diikuti oleh menurunnya nilai VIM. Garis merah pada grafik menunjukkan batas minimal dan maksimal dari nilai VIM. Nilai VIM untuk campuran Laston AC-WC dibatasi dalam Spesifikasi Kementerian PU (Revisi 2, 2018) sebesar 3-5%.



Gambar 1 Grafik Hubungan Kadar Aspal Dengan VIM

b.VMA (*Voids in the Mineral Aggregate*)

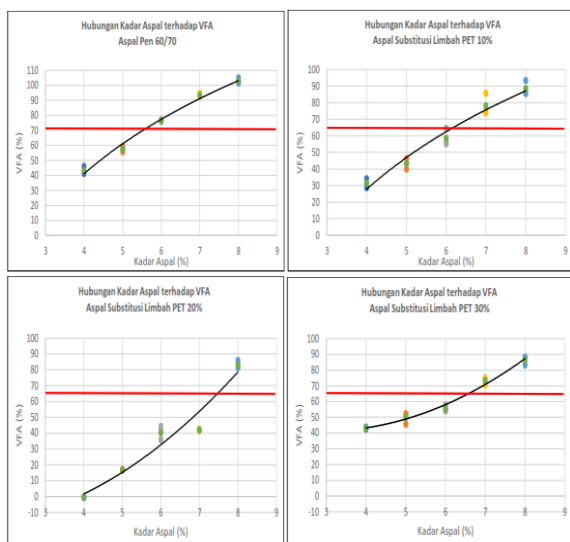
VMA merupakan rongga yang berada dalam agregat yaitu ruang di antara partikel agregat dari suatu campuran perkerasan yang dipadatkan, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif namun tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat (*Asphalt Institute*, 1983). Nilai VMA menurut Spesifikasi Kementerian PU (Revisi 2, 2018) dibatasi minimal 15%. Nilai VMA yang lebih besar dari 15% dibutuhkan agar dapat memberikan ruang cukup pada agregat dalam menempatkan aspal. Pada **Gambar 2** dapat dilihat bahwa grafik sudah menunjukkan hubungan yang sesuai antara kadar aspal dengan nilai VMA. Meningkatnya kadar aspal akan menurunkan nilai VMA atau rongga pada mineral agregat.



Gambar 2 Grafik Hubungan Kadar Aspal Dengan VMA

c. VFA (Voids Filled with Asphalt)

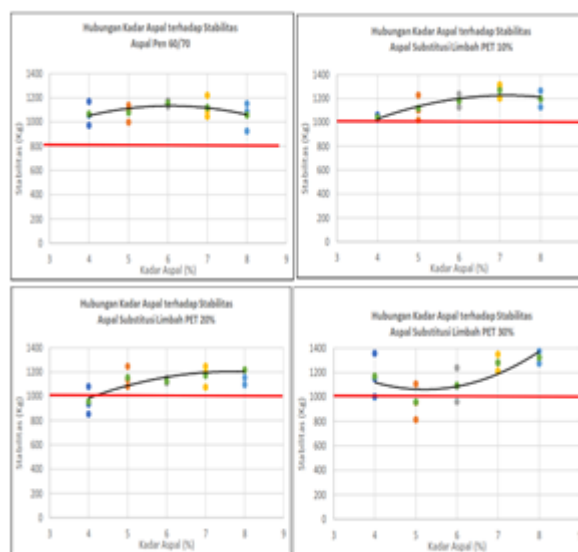
VFA merupakan rongga terisi aspal yang merupakan presentase dari nilai VMA dikurangi VIM. Pengaruh utama VFA adalah membatasi VMA maksimum dan kadar aspal maksimum. VFA juga membatasi VIM yang diijinkan yang memenuhi VMA minimum. Nilai VFA menurut Spesifikasi Kementerian PU (Revisi 2,2018) dibatasi minimal 65% agar dapat dihasilkan campuran yang awet. Aspal yang mengisi rongga dalam agregat diharapkan dapat menyelimuti agregat dengan baik dan memberikan gaya ikat antar agregat dan aspal yang kuat. Pada **Gambar 3** dapat dilihat secara umum bahwa nilai VFA sudah meningkat seiring dengan bertambahnya kadar aspal. Nilai VFA akan berbanding terbalik dengan nilai VIM. Makin banyak rongga yang terisi aspal maka makin sedikit rongga kosong dalam campuran.



Gambar 3 Grafik Hubungan Kadar Aspal Dengan VFA

d. Stabilitas

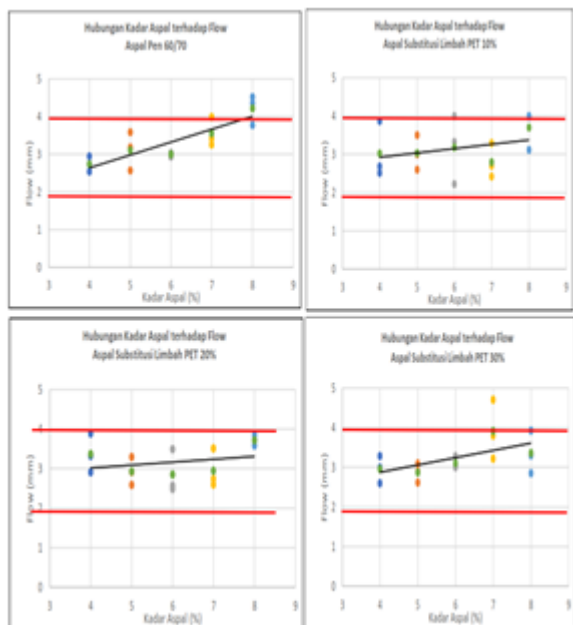
Stabilitas merupakan parameter empiris untuk mengetahui kemampuan perkerasan jalan dalam menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur dan *bleeding* [10]. Berdasarkan Spesifikasi Kementerian PU (Revisi 2, 2018), nilai stabilitas campuran laston AC-WC dibatasi minimal 800 sedangkan campuran laston AC-WC yang dimodifikasi dibatasi minimal 1000. Pada **Gambar 4** terlihat secara umum bahwa nilai stabilitas dari campuran dengan aspal substitusi limbah plastik PET lebih besar daripada campuran dengan aspal pen 60/70 sehingga dapat dikatakan bahwa penambahan limbah plastik PET dapat meningkatkan nilai stabilitas.



Gambar 4 Grafik Hubungan Kadar Aspal Dengan Stabilitas

e. Flow

Flow atau kelelahan merupakan parameter empiris yang menjadi indikator terhadap kelenturan atau perubahan bentuk plastis campuran beraspal yang diakibatkan oleh beban. Berdasarkan Spesifikasi Kementerian PU (Revisi 2, 2018), nilai flow dibatasi antara 2-4 mm. Campuran harus dijaga agar tidak terlalu kaku karena akan mudah retak dan rusak. Apabila semakin banyak aspal yang ditambahkan maka campuran akan memiliki nilai flow yang makin tinggi karena aspal termasuk material termoplastik yang memiliki sifat plastis. Sifat aspal sebagai bahan pengikat membuat semakin banyak aspal menyelimuti agregat sehingga ikatan antara aspal dengan agregat semakin baik yang menyebabkan nilai flow makin tinggi. Pada grafik di **Gambar 5** terlihat tren garis bahwa kenaikan kadar aspal akan menaikkan nilai flow. Menurut Motlagh et al. (2012) kenaikan nilai flow disebabkan oleh gabungan dari presentase optimum aspal dan persentase minimum dari flow [11].



Gambar 5 Grafik Hubungan Kadar Aspal Dengan Flow

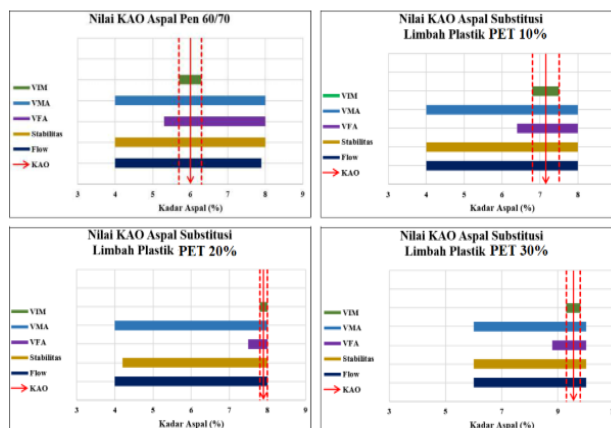
3.5 Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Dari hasil pengujian Marshall, didapat batas nilai KAO untuk tiap benda uji pada tiap parameter meliputi VIM, VMA, VFA, stabilitas dan *flow*. Batas-batas nilai KAO tersebut dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Nilai KAO Benda Uji

Parameter	Spesifikasi	Batas KAO										
		Aspal Pen 60/70		Aspal + 10% Limbah PET		Aspal + 20% Limbah PET		Aspal + 30% Limbah PET				
		Min	Maks	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas			
VIM	3	5	5,7	6,3	6,8	7,5	7,8	8	9,3	9,8		
VMA	15		4	8	4	8	4	8	6	10		
VFA	65		5,3	8	6,4	8	7,5	8	8,8	10		
STABILITAS	800 (untuk Aspal Pen 60/70)			4	8	4	8	4,2	8	6	10	
	1000 (untuk Aspal modifikasi polimer)											
Flow			2	4	4	7,7	4	8	4	8	6	10

Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) dilihat dari 5 parameter yaitu VIM, VMA, VFA, stabilitas dan *flow*. Semua parameter tersebut harus dipenuhi dengan memenuhi tiap syarat pada Spesifikasi Kementerian PU (Revisi 2, 2018) agar mendapatkan campuran dengan KAO. Kadar aspal yang memenuhi syarat di tiap parameter diplotkan pada grafik lalu dicari rentang kadar aspal yang memenuhi semua parameter Marshall. Nilai KAO diperoleh dari nilai tengah rentang kadar aspal tersebut. Hasil penentuan KAO dapat dilihat pada **Gambar 6**



Gambar 6 Hasil Pengujian Marshall pada Campuran Aspal

Nilai KAO yang makin besar belum tentu menunjukkan makin besarnya massa aspal yang terkandung, khususnya pada campuran yang menggunakan aspal dengan substitusi limbah plastik PET. **Tabel 3** menunjukkan massa aspal dan massa limbah plastik PET yang dibutuhkan untuk 1 benda uji dengan berat total 1.200 gram.

Tabel 3 Perbandingan Nilai KAO Campuran

No.	Jenis Campuran	Nilai KAO (%)	Massa Aspal (gram)	Massa Limbah Plastik EPS (gram)	Massa Agregat (gram)	Stabilitas Campuran (kg)	Spesifikasi Stabilitas menurut Kementerian PU, 2018 (kg)
1.	Campuran dengan aspal pen 60/70	6	72	0	1.128	1138,86	800
2.	Campuran aspal substitusi limbah EPS 10%	7,2	77,86	0,1	1.113,6	1235,14	1000
3.	Campuran aspal substitusi limbah EPS 20%	7,9	76,05	0,21	1.105,2	1214,98	1000
4.	Campuran aspal substitusi limbah EPS 40%	9,6	69,63	0,5	1.084,8	1289,21	1000

Nilai KAO pada campuran dengan aspal substitusi limbah plastik PET 30% lebih besar dari 3 campuran lainnya namun dari segi massa aspal yang dibutuhkan nilainya paling sedikit. Dari segi stabilitas, campuran ini pun memiliki kelebihan karena nilainya paling tinggi. Hal ini bisa disebabkan oleh lebih tingginya temperatur pencampuran dari campuran dengan aspal substitusi limbah plastik PET 30% sehingga aspal bisa lebih encer dan mudah untuk menyelimuti agregat dan mengisi rongga dalam campuran.

Dari segi teknis dapat dilihat bahwa penggunaan limbah plastik PET sebagai bahan substitusi sebagian aspal pada campuran Laston AC-WC memberikan keuntungan berupa peningkatan kekuatan atau stabilitas. Pada campuran dengan kadar variasi substitusi aspal 30% limbah plastik PET, didapat peningkatan stabilitas sebesar 12,30% dibandingkan dengan campuran yang menggunakan aspal pen 60/70. Peningkatan stabilitas ini akan membuat perkerasan jalan lebih kuat dalam menahan beban lalu lintas peningkatan kekuatan atau stabilitas. Pada campuran dengan kadar variasi substitusi aspal 30% limbah plastik PET, didapat peningkatan

stabilitas sebesar 12,30% dibandingkan dengan campuran yang menggunakan aspal pen 60/70. Peningkatan stabilitas ini akan membuat perkerasan jalan lebih kuat dalam menahan beban lalu lintas.

Tabel 4 Peningkatan Nilai Stabilitas

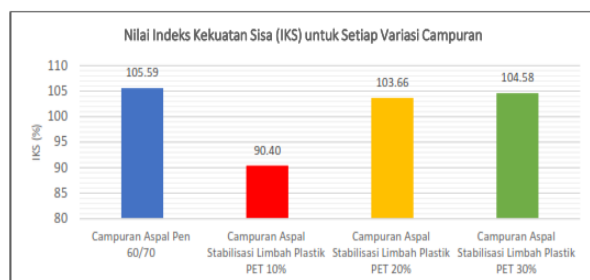
No.	Jenis Campuran	Stabilitas Campuran (kg)	Peningkatan Stabilitas Campuran (%)
1.	Campuran dengan aspal pen 60/70	1138,86	-
2.	Campuran aspal substitusi limbah EPS 10%	1235,14	8,4
3.	Campuran aspal substitusi limbah EPS 20%	1214,98	6,8
4.	Campuran aspal substitusi limbah EPS 40%	1289,21	12,55

3.6 Penguian Perendaman Marshall

Penguian perendaman Marshall memiliki prosedur sama dengan pengujian Marshall standar. Hal yang membedakan adalah dalam uji perendaman Marshall adalah adanya 2 benda uji tambahan yang direndam terlebih dahulu dalam *water bath* dengan suhu 60° C selama 24 jam untuk mengetahui durabilitas dari benda uji terhadap gangguan dari panas dan air. Total benda uji sejumlah 4 buah per variasi, yaitu 2 buah untuk uji Marshall standar dengan perendaman 30 menit dan 2 buah untuk uji Marshall dengan perendaman 24 jam. Nilai stabilitas Marshall dengan 24 jam perendaman dibandingkan dengan nilai stabilitas Marshall dengan 30 menit perendaman untuk dihasilkan nilai IKS (Indeks Kekuatan Sisa).

Tabel 5 Hasil Uji Perendaman Marshall

No.	Jenis Campuran	Stabilitas	Stabilitas	IKS (%)
		Perendaman Standar (kg)	Perendaman 24 Jam (kg)	
1.	Campuran dengan aspal pen 60/70	1.253,39	1.186,98	105,59
2.	Campuran aspal substitusi limbah PET 10%	1090,75	1.206,63	90,40
3.	Campuran aspal substitusi limbah PET 20%	1.149,70	1.109,07	103,66
4.	Campuran aspal substitusi limbah PET 30%	1.169,11	1.117,94	104,58



Gambar 7 Nilai IKS untuk setiap nilai campuran

Dari data di **Tabel 5** dan **Gambar 7** dapat dilihat bahwa terjadi kenaikan nilai IKS seiring dengan meningkatnya penambahan limbah plastik PET ke dalam campuran aspal. Nilai IKS dari keempat campuran memenuhi syarat dari Spesifikasi Kementerian Pekerjaan Umum (Revisi 2, 2018) yang mensyaratkan minimal 90% untuk campuran Laston. Hal ini membuktikan bahwa 4
DOI : <https://doi.org/10.52158/jaceit.v4i1.431>

campuran tersebut tahan terhadap air dan temperatur tinggi. Akan tetapi terlihat bahwa nilai IKS dari campuran dengan aspal pen 60/70 masih lebih besar daripada campuran dengan substitusi limbah plastik PET. Hal ini membuktikan bahwa campuran dengan limbah plastik PET kurang tahan dengan gangguan air dan panas. Perendaman benda uji pada waktu lama pada *water bath* dapat merusak kekuatan dari campuran akibat efek dari air dan panas. Tes ini mensimulasikan keadaan jalan raya pada kondisi yang paling berpotensi merusak kekuatan jalan raya yaitu ketika jalan raya yang telah menerima banyak panas dari beban jalan raya dan cuaca sekitar dikenai oleh air hujan.

Analisis Lingkungan dari Pemanfaatan Limbah Plastik PET sebagai Substitusi Aspal

Pemanfaatan limbah plastik PET sebagai substitusi sebagian aspal dalam campuran Laston AC-WC tentunya memberikan dampak positif dari segi lingkungan, khususnya dari segi pengelolaan sampah. Limbah plastik merupakan limbah yang sangat lama terurai di bumi. Plastik merupakan material yang susah terurai yang menurut penelitian terakhir membutuhkan waktu hingga 4.500 tahun untuk terurai sempurna. Maraknya penggunaan plastik dan kurangnya pengelolaan yang tepat bagi limbah plastik akan memberikan dampak negatif berupa penunyaan TPA dan juga pencemaran tanah [12]. Limbah plastik setiap hari akan terus menumpuk sehingga dapat mengganggu stabilitas terhadap lingkungan. Pada penelitian yang dilakukan Fitdiarini dan Damanhuri diketahui bahwa pemulung dan tukang loak yang mengumpulkan limbah PET sangat sedikit jumlahnya. Hal ini disebabkan rendahnya harga jual limbah PET sehingga hampir tidak ada lapak atau bandar yang bersedia menampung atau membeli. Akibat kurangnya upaya daur ulang limbah plastik PET maka jumlah limbah plastik PET yang berada di TPA akan terus bertambah [13].

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, pada campuran dengan aspal substitusi limbah plastik PET 30% terlihat peningkatan kekuatan dari campuran yang sangat menguntungkan dari segi teknis. Selain itu penggunaan lebih sedikit aspal pada KAO sedangkan limbah plastik PET yang digunakan paling banyak, sehingga dari segi ekonomi dan lingkungan sangat menguntungkan.

Berikut contoh perhitungan pemanfaatan limbah plastik PET. Data limbah sampah plastik PET yang digunakan adalah sebesar 22,47 kg dengan menggunakan aspal substitusi limbah plastik PET sebesar 30%

- Jumlah limbah plastik PET pada sampel 1200 gram dengan KAO 9,5 % = 0,5 gram
- Volume sampel 1200 gram = $\frac{\text{Massa Sampel}}{\text{Bj.Campuran}} = \frac{1200 \text{ gram}}{2,387 \text{ gr/cm}^3} = 502,72 \text{ cm}^3$
- Volume lapisan AC-WC untuk pemanfaatan limbah plastik PET

$$= \frac{\text{Massa Limbah plastik PET}}{\text{Jumlah Plastik PET per 1200 gram}} \times \text{Volume Sampel}$$

$$= \frac{22470 \text{ gram}}{0,5 \text{ gram}} \times 502,72 \text{ cm}^3 = 22,59 \text{ m}^3$$

- Panjang lapisan AC-WC yang dapat digunakan untuk pemanfaatan limbah plastik PET
$$= \frac{\text{Volume Jalan Raya}}{\text{Lebar 1 Lajur Jalan x Tebal Jalan}}$$

$$= \frac{22,59 \text{ m}^3}{3,5 \times 0,05 \text{ m}} = 129,1 \text{ m}$$
- Potensi pemanfaatan limbah plastik PET sebagai substitusi aspal
$$= \frac{22470 \text{ gram}}{129,1 \text{ gram}}$$

$$= 174 \text{ gr/meter untuk AC-WC 1 lajur}$$

$$= 0,0158 \text{ m}^3 / \text{meter untuk lapisan AC-WC 1 lajur}$$

Analisis Ekonomi Pemanfaatan Limbah Plastik PET sebagai Substitusi Aspal

Selain memberikan keuntungan dari segi teknis dan lingkungan, pemanfaatan limbah plastik PET sebagai substitusi sebagian aspal dalam Laston AC-WC juga memberikan dampak positif dari segi ekonomi. Pada variasi penggunaan limbah plastik PET sebesar 30% dengan KAO 9,5% terlihat bahwa jumlah aspal yang digunakan lebih sedikit daripada aspal Pen 60/70 yang biasa digunakan. Penggunaan aspal terlihat menurun sebesar 3,3% dari yang sebelumnya 72 gram untuk 1.200 gram campuran menjadi 69,63 gram untuk 1.200 gram campuran. Penurunan jumlah penggunaan aspal ini tentunya akan menurunkan pula biaya yang digunakan untuk pengadaan aspal. Berikut adalah perhitungan keuntungan dari segi ekonomi untuk 100 m lapisan AC-WC dalam 1 lajur jalan raya

- Volume lapisan AC-WC = p x l x t = 100 x 3,5 x 0,05 = 17,5 m³
- Massa lapisan AC-WC = Specific gravity campuran x volume = 2,47 x 17,5 = 43,225 kg
- Harga aspal = Rp. 10.000,- / kg
- Kebutuhan Aspal Pen 60/70 pada Laston normal = 6% x 43,225 kg = 2,59 kg
- Harga kebutuhan Aspal Pen 60/70 pada Laston normal = 2,59 x Rp. 10.000,- = Rp. 25.900,-
- Pada Laston modifikasi, kebutuhan massa aspal menurun sebesar 3,3%
Sehingga kebutuhan aspal = 2,59 kg – (3,3% x 2,59 kg) = 2,5 kg
- Harga kebutuhan aspal pada Laston modifikasi = 2,5 x Rp. 10.000,- = Rp. 25.000,-
- Penghematan biaya pengadaan aspal = $\frac{\text{Rp.25900} - \text{Rp.25000}}{\text{Rp.25900}} \times 100\%$ = 3,47%

Adapun Rencana Anggaran Biaya untuk aspal normal dan aspal plastik sebagai berikut

- a. Menghitung kebutuhan 1 m³
Diketahui berat jenis campuran aspal sebesar 2,387 t/m³.

Maka kebutuhan 1m³ = 1 x 2,387 = 2,387 Ton.

DOI : <https://doi.org/10.52158/jaceit.v4i1.431>

Jika di konversi ke kilogram ialah 2,387 ton x 1000 = 2387 Kg.

Tabel 6 Berat Campuran per m³ Non Plastik

Material	Kadar
Berat Sampel	1200 Kg
Kadar Aspal Optimum	6,0 %
Persentase Kadar Plastik	0,0 %
Berat Kadar Plastik	0,0 Kg
Berat Kadar Aspal	140 Kg
Berat Agg. Kasar (10-20)mm	20 % 449,4 Kg
Berat Agg. Kasar (10-10)mm	20 % 449,4 Kg
Berat Agg. Kasar (5-10)mm	15 % 337,05 Kg
Berat Agg. Kasar (0-5)mm	45 % 1011,15 Kg
TOTAL =	2387 Kg

Tabel 7 Anggaran Biaya per m³ Aspal Non Plastik

Material	Berat (Kg)	Harga Satuan (per Kg)	Total
Berat Aspal	140 Kg	Rp. 10.000,-	Rp. 1.400.000,-
Berat Plastik	0 Kg	Rp. 7.000,-	Rp. 0
Berat Agg. (10-20)mm	450 Kg	Rp. 59,52,-	Rp. 26.784,00,-
Berat Agg. (10-10)mm	450 Kg	Rp. 59,52,-	Rp. 26.784,00,-
Berat Agg. (5-10)mm	337 Kg	Rp. 59,52,-	Rp. 20.058,24,-
Berat Agg. (0-5)mm	1011 Kg	Rp. 40,00,-	Rp. 40.440,00,-
Total			Rp. 1.514.066,24

Tabel 8 Berat Campuran per m³ Plastik

Material	Kadar
Berat Sampel	1200 Kg
Kadar Aspal Optimum	7,20 %
Persentase Kadar Plastik	10,0 %
Berat Kadar Plastik	22,47 Kg
Berat Kadar Aspal	117,53 Kg
Berat Agg. Kasar (10-20)mm	20 % 453,89 Kg
Berat Agg. Kasar (10-10)mm	20 % 453,89 Kg
Berat Agg. Kasar (5-10)mm	15 % 340,42 Kg
Berat Agg. Kasar (0-5)mm	45 % 1021,26 Kg
TOTAL =	2387 Kg

Tabel 9 Anggaran Biaya per m³ Aspal Plastik

Material	Berat (Kg)	Harga Satuan (per Kg)	Total
Berat Aspal	117,53 Kg	Rp. 10.000,-	Rp. 1.175.300,-
Berat Plastik	22,47 Kg	Rp. 7.000,-	Rp. 157.290,-
Berat Agg. (10-20)mm	453,89 Kg	Rp. 59,52,-	Rp. 27.015,77,-
Berat Agg. (10-10)mm	453,89 Kg	Rp. 59,52,-	Rp. 27.015,77,-
Berat Agg. (5-10)mm	340,42 Kg	Rp. 59,52,-	Rp. 20.261,83,-
Berat Agg. (0-5)mm	1021,26 Kg	Rp. 40,00,-	Rp. 40.850,46,-
Total			Rp. 1.447.741,09,-

Jika harga plastik dianggap 50% limbah dan 50% biaya operasional pemungutan hingga pencacahan sehingga harga plastik menjadi Rp. 3.500,- maka berikut rencana anggaran biayanya.

Tabel 10 Anggaran Biaya per m³ Aspal Plastik (50% limbah, 50% biaya oprasional)

Material	Berat (Kg)	Harga Satuan (per Kg)	Total
Berat Aspal	117,53 Kg	Rp. 10.000,-	Rp. 1.175.300,-
Berat Plastik	22,47 Kg	Rp. 3.500,-	Rp. 7.865,00,-
Berat Agg. (10-20)mm	453,89 Kg	Rp. 59,52,-	Rp. 27.015,77,-
Berat Agg. (10-10)mm	453,89 Kg	Rp. 59,52,-	Rp. 27.015,77,-
Berat Agg. (5-10)mm	340,42 Kg	Rp. 59,52,-	Rp. 20.261,83,-
Berat Agg. (0-5)mm	1021,26 Kg	Rp. 40,00,-	Rp. 40.850,46,-
Total			Rp. 1.369.096, 09,-

Maka akan menghemat anggaran sebesar Rp.1.447.741,09 – 1.369.096,09= Rp. 78.645,- per m³ atau 5 % per m³ dari anggaran.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, adapun kesimpulan yang diperoleh sebagai berikut:

Penambahan limbah plastik PET sebagai substitusi sebagian aspal dalam campuran Laston AC-WC akan bertambah kekakuannya yang ditandai dengan berkurangnya nilai penetrasi aspal. Selain itu nilai titik lembek mengalami peningkatan seiring dengan bertambah banyaknya limbah plastik PET. Ini berarti aspal tidak terlalu peka terhadap perubahan temperatur, sehingga meningkatkan daya tahan perkerasan jalan terhadap perubahan deformasi (*rutting*).

Dari ketiga variasi substitusi limbah plastik PET ke dalam aspal dalam campuran Laston AC-WC terlihat bahwa terjadi peningkatan nilai stabilitas dibandingkan dengan campuran Laston AC-WC yang menggunakan aspal pen 60/70. Peningkatan nilai stabilitas tertinggi dimiliki oleh variasi substitusi 30% yaitu sebesar 12,30%.

Pemanfaatan limbah plastik PET sebagai substitusi sebagian aspal dalam campuran Laston AC-WC selain memberikan keuntungan dari segi teknis juga memberikan keuntungan dari segi lingkungan dan ekonomi. Dari segi lingkungan, penggunaan limbah plastik PET ini dapat mengurangi volume limbah plastik PET yang masuk ke TPA. Potensi pemanfaatan limbah plastik EPS sebagai bahan substitusi aspal adalah 0,0158 m³/meter 1 lajur lapisan AC-WC. Sedangkan dari segi ekonomi, penggunaan limbah PET untuk menggantikan sebagian aspal terbukti dapat mengurangi biaya pengadaan aspal sebesar 3,47% dan menghemat biaya sebesar 5% per m³ dari anggaran.

Ucapan Terima kasih

Penelitian ini didanai melalui Dana Riset Inovasi UPT Kawasan Sains dan Teknologi Universitas Borneo Tarakan 2022. Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Rektor Universitas Borneo Tarakan dan Kepala UPT Kawasan Sains dan Teknologi Universitas Borneo Tarakan yang telah memfasilitasi dan membantu dalam pembiayaan penelitian ini.

Daftar Rujukan

[1] Djiwantoro, Pemanfaatan abu terbang batubara (fly ash) sebagai bahan bangunan, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas
DOI : <https://doi.org/10.52158/jaceit.v4i1.431>

Diponegoro, 2001.

- [2] Al-Hadidy Al. Evaluation of Pyrolysis Polypropylene Modified Asphalt Paving Material. *Journal Al-Rafidian Eng.*;14(2):36-50, 2006.
- [3] Hendrawan, I P I. Studi Sifat Campuran Lapis Tipis Aspal Pasir (Latasir) Dengan Menggunakan Plastik HDPE Sebagai Pengganti Sebagian Agregat. Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil Universitas Udayana. Bali, 2014.
- [4] Anita, R. Perbandingan Pengaruh Penambahan Plastik Bekas HDPE Dalam Laston-WC dan Laston-WC Terhadap Karakteristik Marshall. Seminar Nasional Teknik Sipil V. Jurusan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, 2015.
- [5] Vasudevan, R. Utilization of Waste Plastics in Rural Roads. Madurai. Department of Chemistry Thiagarajar College of Engineering, 2013.
- [6] Suhardi, Pratomo, P., & Ali, H. Studi Karakteristik Marshall Pada Campuran Aspal Dengan Penambahan Limbah Botol Plastik. *Jurnal Rekayasa Sipil Dan Desain*, 4(2), 284–293, 2016.
- [7] Moghaddam, T. B., Karim, M. R., & Soltani, M. Utilization of waste plastic bottles in asphalt mixture. *Journal of Engineering Science and Technology*, 8(3), 264–271, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.11.101>
- [8] Solobi, A. O., Nwobodo, S. E & Aladegboye, O. J. Recycling of polyethylene terephthalate (PET) plastic bottle wastes in bituminous asphaltic concrete, *Cogent Engineering*, 3:1, 1133480, 2016. DOI: 10.1080/23311916.2015.1133480 To link to this article: <https://doi.org/10.1080/23311916.2015.1133480>
- [9] Kementerian Pekerjaan Umum. Seksi 6.3 Spesifikasi Campuran Beraspal Panas pada Spesifikasi Umum Jalan dan Jembatan. Direktorat Jenderal Bina Marga. Jakarta, 2018
- [10] Asphalt Institute. Manual Series No.4 (MS-4): The Asphalt Handbook. The Asphalt Institute; USA, 1989
- [11] Kalantar, Z. N., Mohamed R. K., Abdelaziz M. A Review of Using Waste and Virgin Polymer in Pavement. *Journal of Construction and Building Materials*, (33): 55-62, 2012.
- [12] Abas, F. O., Enass A., Talaib A. The Use of Techniques in the Management of Waste Plastic by Reuse It in the Asphalt Mix. Iraq: Koya University, 2012.
- [13] Fitdiarini, N. L., Enri D. Laporan Tugas Akhir: Analisis Aliran Material Sampah Styrofoam di Kota Bandung. Bandung: Program Studi Teknik Lingkungan Institut Teknologi Bandung, 2011.