Jurnal Sains Riset (JSR)
p-ISSN: 2088-0952 *e*-ISSN: 2714-531X
https://journal.unigha.ac.id/index.php/JSR

EVALUASI KINERJA CAMPURAN ASPAL DENGAN SUBTITUSI LIMBAH PLASTIK PET DALAM MENINGKATKAN DURABILITAS CAMPURAN ASPAL PENETRASI 60/70 TEHADAP VARIASI LAMA WAKTU PERENDAMAN

Ammar Fadhil [(1)], Hanyta Khairunnisa [(2)]
[1-2] Teknik Sipil, Fakultas teknik Universitas Almuslim, Bireuen
e-mail: ammarft7@gmail.com, nta.khair@gmail.com

DOI: https://doi.org/10.47647/jsr.v14i3.2773

ABSTRACT

The utilization of plastic waste can be done by using it as an additive in asphalt concrete wearing course (AC-WC) mixtures. Incorporating plastic waste into road construction serves two purposes: reducing plastic waste and enhancing road quality. This research aims to determine the durability value when 7% PET plastic is immersed at 60°C for 0.5 hours, 24 hours, 36 hours, 48 hours, and 72 hours in a 60/70 penetration asphalt mixture. This study was conducted by adding PET pieces in a dry condition. The Optimal Asphalt Content (OAC) obtained from the test specimen was 6.29% (Marwati et al., 2021). From the Marshall test results without PET, the 24-hour durability value was 94.13%, and with the addition of 7% PET, the durability value at 24 hours increased to 96.16% and at 36 hours to 91.57%, meeting the specification of ≥ 90%, while at 48 hours it was 83,31%, and at 72 hours it was 80,70% which did not meet the requirements. The stability value increased due to the addition of PET in the asphalt mixture compared to the asphalt mixture without PET. The addition of 7% PET still met the requirements for a 36-hour immersion time in water with a stability value of 1094.13 kg, and Marshall parameters such as VIM 4.83%, VFA 79.41%, VMA 23.17%, MQ 288.57 kg/mm, and flow 3.80 mm met the specifications of Bina Marga 2020.
Keywords: *PET plastic, Durability, immersion variations, Bina Marga 2020.*

ABSTRAK

Pemanfaatan limbah plastik dapat dilakukan dengan menggunakannya sebagai bahan tambah pada campuran aspal beton lapis pengikat AC-WC. Mencampur sampah plastik ke dalam konstruksi jalan raya mempunyai dua tujuan, yaitu mengurangi sampah plastik dan meningkatkan kualitas jalan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai durabilitas apabila plastik PET 7% direndam dengan suhu 60˚C selama ½ jam, 24 jam, 36 jam, 48 jam dan 72 jam pada campuran aspal penetrasi 60/70. Penelitian ini dilakukan dengan menambahkan potongan PET dengan cara kering. Nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) yang diperoleh pada benda uji yaitu sebesar 6,29% (Marwati et al., 2021). Dari hasil pengujian marshall tanpa PET nilai durabilitas 24 jam sebesar 94,13% dan penambahan PET 7% nilai durabilitas pada rendaman 24 jam sebesar 96,16% dan rendaman 36 jam sebesar 91,57% yang memenuhi spesifikasi ≥ 90%, sedangkan pada rendaman 48 yaitu 83,31%, rendaman 72 jam sebesar 80,70% tidak memenuhi persyaratan. Nilai stabilitas akibat penambahan PET pada campuran aspal meningkat dibandingkan campuran aspal tanpa PET. Penambahan PET 7% masih memenuhi syarat selama waktu perendaman air 36 jam nilai stabilitas sebesar 1094,13 Kg, parameter marshall seperti VIM 4,83%, VFA 79,41%, VMA 23,17%, MQ 288,57 kg/mm dan flow 3,80 mm telah memenuhi syarat Spesifikasi Bina Marga 2020.
Kata kunci: Plastik PET, Durabilitas, variasi rendaman, Bina Marga 2020.

1. Pendahuluan

Pada umumnnya perkerasan jalan di Indonesia sangat umum mengalami kerusakan awal (kerusakan dini) antara lain akibat pengaruh beban lalu lintas kendaraan yang berlebihan *(over loading)*, temperatur (cuaca), air, maupun dari sistem drainase jalan dan konstruksi perkerasan yang kurang memenuhi persyaratan teknis (Novela, I, 2022).

Pada saat musim hujan tiba, tidak sedikit jalan yang ada di Indonesia terendam oleh air akibat banjir. Hal ini dapat mempengaruhi kinerja perkerasan aspal khususnya masalah ketahanan atau keawetan jalan *(durability)*. Indikasi awal yang dapat dijadikan sebagai hipotesis bahwa semakin lama perkerasan aspal terendam oleh air, maka sifat durabilitas suatu campuran aspal tersebut juga akan berkurang sehingga lambat laun perkerasan jalan akan lebih cepat rapuh. (Hadid. et., al, 2020).

Salah satu limbah plastik yang dapat digunakan yaitu limbah botol plastik dengan tipe *Polyethylene Terephthalate* (PET atau PETE) sebagai aditif pada campuran Laston AC-WC. Pemanfaatan limbah botol plastik selain membantu lingkungan dalam mengurangi penumpukan plastik dan jika dicampur dengan aspal juga dapat meningkatkan karakteristik pada aspal. Prameswari (2016) menyatakan campuran beraspal yang telah di substitusi dengan PET dikatakan dapat meningkatkan nilai stabilitas dalam campuran beraspal.

Menurut (Marwati, et.,al, 2021) penambahan PET 7% dengan kadar aspal 6,29% metode pecampuran kering memiliki nilai stabilitas tinggi dan nilai durabilitas di atas syarat > 90%.

Penelitian ini menganalisis pemanfaatan limbah botol plastik (PET) 7% nilai persentase terbaik dan kadar aspal 6,29% dengan cara kering terhadap variasi lama perendaman dengan suhu perendaman 60˚C selama 1/2 jam, 24 jam, 36 jam, 48 jam dan 72 jam pada campuran aspal penetrasi 60/70 AC-WC dengan *filler* semen porland (PCC) untuk mengetahui nilai durabilitas terhadap variasi lama perendaman.

2. Metode

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah studi eksperimen yang dilakukan di Laboraturium Fakultas Teknik Universitas Almuslim, Kabupaten Bireuen. Agregat yang berasal dari quary, serta aspal yang digunakan berupa aspal keras penetrasi 60/70 produksi PT. Pertamina. Pembuatan benda uji dengan cara kering tanpa PET dan subtitusi limbah PET 7% dengan suhu 60˚C lama variasi perendaman terhadap karakteristik marshall dan durabilitas.

Tahapan penelitian mengikuti langkah-langkah sebagai berikut :

1. Tahapan Persiapan

Perolehan bahan untuk digunakan dalam penelitian termasuk dalam proses penyiapan bahan. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain semen (filler), aspal pen. 60/70, agregat kasar dan halus, dan plastik PET.

2. Perencanaan Campuran

Bahan tambah yang digunakan adalah limbah pastik jenis PET (Polyethylene Terephthalate) yang bisa didapat dari hasil pengumpulan limbah plastik dari daerah sekitar dengan kadar (0% dan 7%).

3. Pembuatan Benda Uji

Siapkan bahan dan alat yang dibutuhkan untuk membuat tempat pengujian, yaitu. Aspal, Agregat Kasar, Agregat Halus dan Limbah Botol Plastik PET yang disesuaikan dalam bungkus plastik sesuai persentase yang direncanakan. Panaskan aspal dan plastik PET hingga suhu aspal mencapai 150°C sebelum dicampur dengan agregat. Masukkan semua bahan yang sudah tercampur dengan suhu maksimal ke dalam cetakan dan tusuk dengan spatula.

Tabel 1. Jumlah Benda Uji KAO 6,29 %

Waktu Rendaman	PET	
	0%	7%
1/2 jam	3	3
24 jam	3	3
36 jam	3	3
48 jam	3	3
72 jam	3	3
Total	15	15
	30	

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil dari pengujian ini meliputi hasil pengujian benda uji dan pemeriksaan terhadap nilai-nilai karakteristik marshall bedasarkan spesifikasi Bina Marga 2020 dalam menentukan nilai stabilitas, *flow*, VIM, VMA VFA, *density*, *Marshall Quontient* (MQ) dan durabilitas.

3.1 Hasil Pemeriksaan Sifar Fisis Agregat

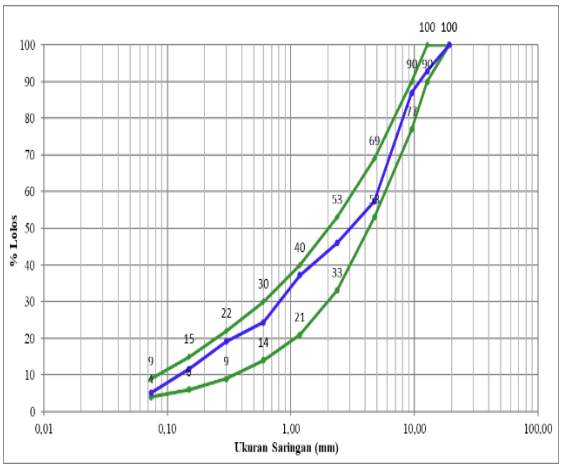
Data hasil pemeriksaaan laboratorium terhadap sifat-sifat fisis agregat batu pecah yang berasal dari mesin *Stone Crusser* milik PT. Krueng Meuh akan disajikan dalam bentuk tabel. Pemeriksaan sifat-sifat fisis ini meliputi pemeriksaan berat jenis, penyerapan, berat isi.

Tabel 2. Hasil sifat fisis agregat

No	Uraian	Spesifikasi	Hasil		
			CA	MA	Pasir
1	Berat jenis kering bulk	-	2,666	2,642	2,429
2	Berat jenis (SSD)	-	2,680	2,667	2,491
3	Berat jenis semu (Apparent)	-	2,710	2,709	2,589
4	Penyerapan air (absorpsi) (%)	Max 3%	0,665	0,943	2,554

3.2 Hasil Pemerikasaan Gradasi Agregat

Pemeriksaan gradasi agregat dilakukan dengan menggunakan analisa saringan. Dari hasil pemeriksaan yang dilakukan, agregat tersebut tidak dapat digunakan langsung dalam campuran karena tidak memenuhi spesifikasi gradasi yang disyaratkan. Oleh karena itu, harus dilakukan penyesuaian gradasi terlebih dahulu sehingga agregat tersebut memenuhi syarat spesifikasi yang telah ditetapkan. Gradasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah gradasi rapat berdasarkan nilai tengah dari spesifikasi Bina Marga 2020 untuk campuran laston lapis aus (AC-WC). Selanjutnya dari gradasi rencana tersebut dihitung komposisi campuran dan proporsi kadar aspal pen. 60/70.



Gambar 1. Grafik Hasil Gradasi Agregat Kasar dan Agregat Halus Gradasi Rapat

3.3 Hasil Pengujian Marshall Terhadap Variasi Lama Perendaman

Hasil pengujian dan perhitungan parameter Marshall aspal beton (AC-WC) pada kadar aspal optimum KAO sebesar 6,29% dengan variasi perendaman. Untuk rekapitulasi hasil pengujian marshall dengan metode kering dengan suhu rendaman 60˚C terhadap variasi lama perendaman dapat di lihat pada Tabel 3 sampai dengan Tabel 4.

Tabel 3. Hasil rekapitulasi pengujian marshall tanpa PET 0% terhadap variasi lama perendaman.

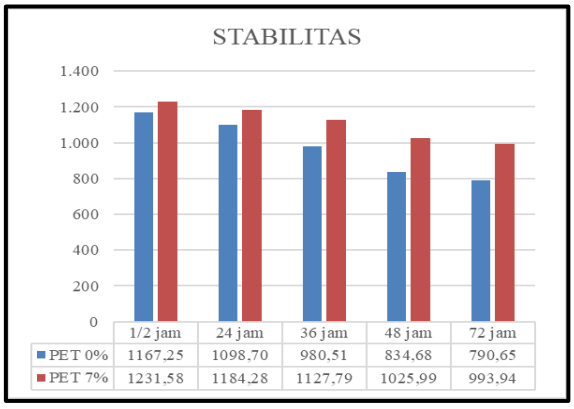
Parameter Marshall	Kadar Plastik PET 0%					Spesifikasi BM 2020
	1/2 jam	24 jam	36 jam	48 jam	72 jam	
VIM (%)	4,52	5,76	6,28	7,99	9,11	3 - 5
VMA (%)	22,92	23,92	24,34	25,72	26,62	Min. 15
VFA (%)	80,61	75,98	74,20	68,96	65,86	Min. 65
Density (t/m3)	2,294	2,264	2,251	2,210	2,183	-
Flow (mm)	3,27	3,73	4,07	5,20	5,50	2 - 4
Stabilitas (kg)	1167,25	1098,70	980,51	834,68	790,65	Min. 800
MQ (Kg/mm)	358,89	294,50	242,09	161,06	143,83	Min. 250

Tabel 4. Hasil rekapitulasi pengujian marshall subtitusi PET 7% terhadap variasi lama perendaman.

Parameter Marshall	Kadar Plastik PET 7%					Spesifikasi BM 2020
	1/2 jam	24 jam	36 jam	48 jam	72 jam	
VIM (%)	3,11	4,46	4,83	6,10	7,04	3 - 5
VMA (%)	21,78	22,87	23,17	24,19	24,95	Min. 15
VFA (%)	85,78	80,84	79,41	74,81	71,79	Min. 65
Density (t/m3)	2,328	2,295	2,286	2,256	2,233	-
Flow (mm)	3,03	3,23	3,80	3,97	5,10	2 - 4
Stabilitas	1231,58	1184,28	1127,79	1025,99	993,94	Min. 1000
MQ (Kg/mm)	412,07	380,33	297,28	258,77	194,93	Min. 250

a. Tinjauan Hasil Terhadap Stabilitas

Nilai stabilitas campuran laston AC-WC menggunakan aspal Pen. 60/70 dengan percampuran kering terhadap KAO 6,29% mengidentifikasi bahwa terjadi kenaikan nilai stabilitas pada campuran PET 7% dibandingkan tanpa PET. Hal ini dipengaruhi oleh sifat fisis dari PET sehingga menjadikan campuran aspal lebih tahan terhadap tekanan dan suhu.



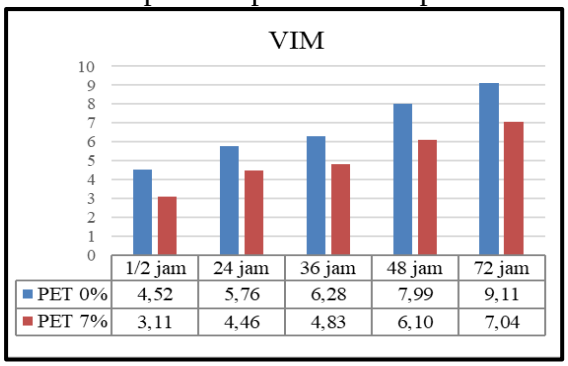
Gambar 2. Pengaruh Nilai Stabilitas Terhadap Variasi lama perendaman

Berdasarkan hasil Gambar 2 nilai stabilitas menggunakan metode percampuran kering dengan *filler* semen pada kadar aspal optimum 6,29%,

penambahan subtitusi PET dapat meningkatkan nilai stabilitas, dimana tanpa PET 0% lama perendaman 48 jam nilai stabilitas 834,68 kg > 800 kg dan dengan subtitusi PET 7% pada lama perendaman 48 jam nilai stabilitas sebesar 1025,99 kg > 1000 kg, nilai stabilitas penambahan PET 7% meningkat dengan persentase 18,6%.

b. Tinjuan Hasil Terhadap Nilai VIM

VIM ini merupakan persentase volume rongga yang terdapat dalam campuran aspal. Dengan kata lain, ini adalah ukuran seberapa banyak ruang kosong yang ada di dalam campuran aspal setelah dipadatkan.



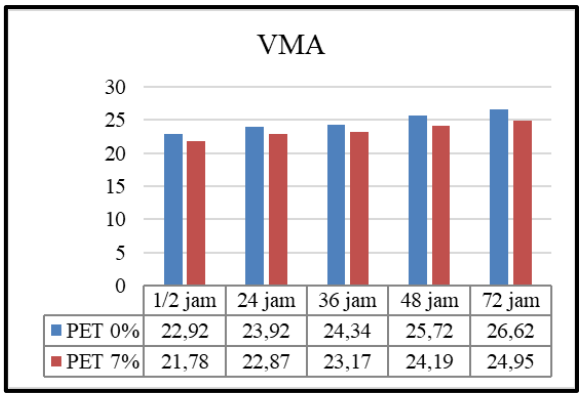
	1/2 jam	24 jam	36 jam	48 jam	72 jam
PET 0%	4,52	5,76	6,28	7,99	9,11
PET 7%	3,11	4,46	4,83	6,10	7,04

Gambar 3. Pengaruh Nilai VIM Terhadap Variasi lama perendaman

Berdasarkan hasil pada Gambar 3. Nilai VIM tanpa PET pada rendaman 24 jam tidak memenuhi spesifikasi, sedangkan nilai VIM 4,83% dengan subtitusi PET 7% pada rendaman 36 jam masih memenuhi spesifikasi 3-5, penambahan PET mempengaruhi nilai VIM baik, PET menutup ruang kosong pada campuran terpenuhi dan tertutup rapat sehingga air tidak mudah masuk kedalam campuran aspal.

c. Tinjuan Hasil Terhadap Nilai VMA

VMA atau *Void in Mineral Aggregate* adalah persentase volume rongga di dalam campuran aspal yang terisi oleh aspal. Nilai VMA ini sangat krusial karena berpengaruh langsung pada kinerja dan daya tahan suatu perkerasan jalan.

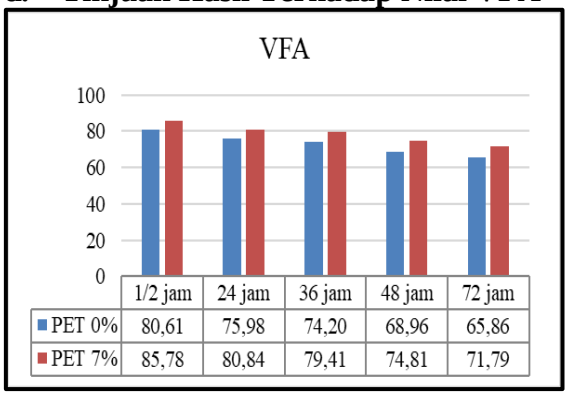


	1/2 jam	24 jam	36 jam	48 jam	72 jam
PET 0%	22,92	23,92	24,34	25,72	26,62
PET 7%	21,78	22,87	23,17	24,19	24,95

Gambar 4. Pengaruh Nilai VMA Terhadap Variasi lama perendaman

Berdasarkan hasil pada Gambar 4. Nilai VMA semakin lama perendaman semakin meningkat, dimana penambahan PET 7% pada rendaman 72 jam nilai VMA masih ideal dibandingkan tanpa PET, hal ini menujukkan penambahan PET 7% terisis dengan baik sehingga agregat dan aspal menutup celah yang terdapat rongga sehingga kedap air, hal ini mampu memberikan keseimbangan antara stabilitas dan *fleksibilitas* pada perkerasan jalan.

d. Tinjuan Hasil Terhadap Nilai VFA



	1/2 jam	24 jam	36 jam	48 jam	72 jam
PET 0%	80,61	75,98	74,20	68,96	65,86
PET 7%	85,78	80,84	79,41	74,81	71,79

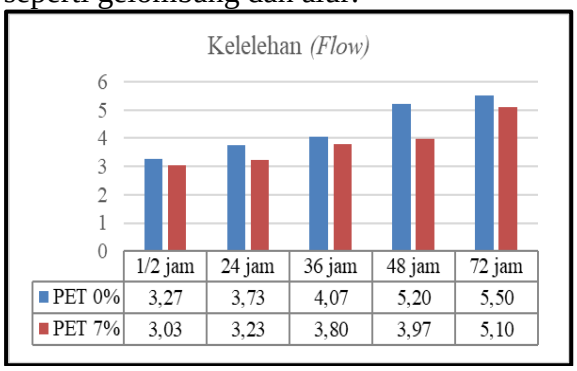
Gambar 5. Pengaruh Nilai VFA Terhadap Variasi lama perendaman

Pada Gambar 5 menunjukkan nilai VFA semakin lama perendaman semakin menurun, ini menandakan aspal yang menyelimutin butiran mengalami penurunan. Namun hasil pada rendaman 72 jam, nilai VFA tanpa PET 65,86% dengan penambahan PET 7% nilai VFA meningkat sebesar 5,93% dengan

persentase 71,79%, nilai ini masih memenuhi persyaratan spesifikasi Min > 65.

e. Tinjuan Hasil Terhadap Nilai *Flow*

Nilai *flow* yang rendah akan mengakibatkan campuran menjadi kaku sehingga lapis perkerasan menjadi mudah retak, sedangkan campuran dengan nilai *flow* tinggi akan menghasilkan lapis perkerasan yang plastis sehingga perkeraan akan mudah mengalami perubahan bentuk seperti gelombang dan alur.



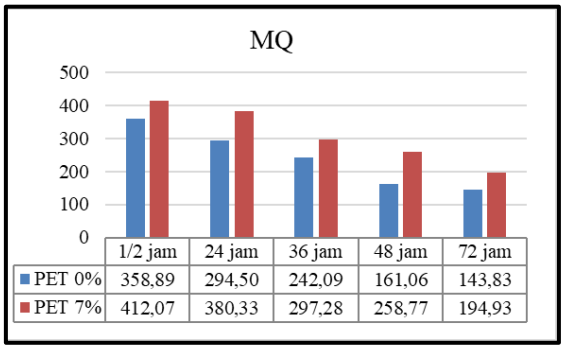
	1/2 jam	24 jam	36 jam	48 jam	72 jam
PET 0%	3,27	3,73	4,07	5,20	5,50
PET 7%	3,03	3,23	3,80	3,97	5,10

Gambar 6. Pengaruh Nilai *Flow* Terhadap Variasi lama perendaman

Pada Gambar 6 memperlihatkan hasil nilai *flow* tanpa PET dan PET 7% semakin lama perendaman semakin meningkat, dengan penambahan PET 7% pada rendaman 48 jam nilai *flow* 3,97 masih memenuhi spesifikasi, dapat disimpulkan penambahan PET dapat menutupi rongga dengan baik sehingga mencegah air yang masuk kedalam aspal.

f. Tinjuan Hasil Terhadap Nilai MQ

Nilai *Marshall Quotient* dari campuran laston lapis aus dengan variasi suhu pemadatan. Nilai *Marshall Quotient* merupakan perbandingan nilai stabilitas campuran dengan flow, semakin besar nilai *Marshall Quotient* maka campuran yang dihasilkan akan semakin kaku sebaliknya bila semakin kecil nilainya maka campuran semakin lentur.



	1/2 jam	24 jam	36 jam	48 jam	72 jam
PET 0%	358,89	294,50	242,09	161,06	143,83
PET 7%	412,07	380,33	297,28	258,77	194,93

Gambar 7. Pengaruh Nilai MQ Terhadap Variasi lama perendaman

Hasil pada Gambar 7 memperlihatkan Nilai MQ pada PET 0% dan PET 7%, semakin lama perendaman semakin menurun, namun dengan penambahan PET 7% pada rendaman 48 jam nilai MQ meningkat sebesar 37,8%. Secara keselurahan PET 0% dan PET 7% pada lama waktu perendaman 72 jam nilai parameter marshall, sebagaian nilai belum memenuhi persyaratan spesifikasi bina marga 2020.

3.4 Hasil Pengujian Durabilitas

Dari hasil pengujian Marshall dengan *filler* semen portland terhadap variasi lama penderaman tanpa PET dan substitusi PET metode pencampuran kering, selanjutnya dilakukan pengujian durabilitas antara stabilitas rendaman ½ jam dengan stabilias rendaman 24 jam, 36 jam, 48 jam dan 72 jam pada suhu 60˚C. Untuk rekapitulasi hasil pengujian dan perhitungan nilai durabilitas untuk kadar aspal efektif dengan substitusi PET dapat dilihat seperti pada Tabel 5 sampai dengan Tabel 6.

Tabel 5. Hasil Rekapitulasi Durabilitas PET 0%

Waktu standar rendaman	Nilai Stabilitas Rendaman	Waktu Stabilitas Rendaman	Nilai Stabilitas Rendaman	Nilai Durabilitas (%)
a	b	c	e	f = e / b
(1/2 jam)	1167,25 kg	24 jam	1098,70	94,13
		36 jam	980,51	84,00
		48 jam	834,68	71,51
		72 jam	790,65	67,74

Hasil rekapitulasi Tabel 6 menunjukkan nilai durabilitas campuran aspal AC-WC pada rendaman 24 jam dengan persentase 94,13% memenuhi syarat spesifikasi, sedangkan pada rendaman 36 jam, 48 jam dan 72 jam nilai durabilitas tidak memenuhi spesifikasi dengan syarat ≥ 90%.

Tabel 6. Hasil Rekapitulasi Durabilitas PET 7%

Waktu standar rendaman	Nilai Stabilitas Rendaman	Waktu Stabilitas Rendaman	Nilai Stabilitas Rendaman	Nilai Durabilitas (%)
a	b	c	e	f = e / b
(1/2 jam)	1231,58 kg	24 jam	1184,28	96,16
		36 jam	1127,79	91,57
		48 jam	1025,99	83,31
		72 jam	993,94	80,70

Hasil rekapitulasi Tabel 6 menunjukkan nilai durabilitas campuran aspal AC-WC pada rendaman 24 jam dengan persentase sebesar 96,16% dan pada rendaman 36 jam persentase sebesar 91,57% memenuhi spesifikasi syarat, sedangkan pada rendaman 48 jam dan 72 jam nilai durabilitas tidak memenuhi spesifikasi dengan syarat ≥ 90%.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian karakteristik campuran AC-WC dengan substitusi PET terhadap variasi lama perendaman dapat disimpulkan:

1. Karakteristik campuran aspal AC-WC terhadap nilai parameter marshall. Nilai stabilitas meningkat pada campuran aspal dengan tambahan PET 7% menunjukkan nilai stabilitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan campuran aspal tanpa PET dengan persentase sebesar 18,6%. Hal ini berarti campuran aspal dengan PET lebih kuat dan tahan terhadap deformasi. Pada rendaman 36 jam dengan subtitusi PET 7% nilai parameter marshall memenuhi keselurahan spesifikasi Bina Marga 2020.
2. Penambahan PET secara umum meningkatkan nilai durabilitas campuran aspal, terutama pada durasi perendaman awal (24-36 jam) di atas 90%. Ini menunjukkan bahwa campuran aspal dengan tambahan PET lebih tahan terhadap kondisi lingkungan yang ekstrem.
3. Durabilitas campuran aspal dengan PET menurun secara signifikan pada durasi perendaman yang lebih lama (48-72 jam). Ini mengindikasikan adanya batasan penggunaan PET dalam jangka panjang.

4.2 Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil penelitian diantaranya:

1. Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk memahami mekanisme interaksi antara plastik PET dan aspal, serta untuk mengoptimalkan penggunaan PET dalam campuran aspal agar dapat meningkatkan durabilitas jangka panjang.
2. Pada penelitian ini menggunakan jenis PET botol plastik air mineral daur ulang 1 kali, untuk penelitian selanjutnya menggunakan jenis plastik PET daur ulang 2 atau 3 kali dan gradisi agregat halus lebih banyak.
3. Disarankan potongan limbah plastik PET agar di potong kecil dan halus agar mudah larut pada saat dilakukan pencampuran dan suhu tidak terlalu tinggi.

5. Daftar Pustaka

Almahbubi, M (2016). *Analisis campuran laston lapis aus (AC-WC) dengan penambahan Polyethylene Terephthalate (PET) dan abu sekam padi.* Banda Aceh: Tugas Akhir. Fakultas Teknik, Teknik Sipil, Universitas Syiah Kuala.

Direktorat Jendral Bina Marga. 2020. *Spesifikasi Umum Direktorat Jenderal Bina Marga Edisi 2018 untuk Pekerjaan Jalan dan Jembatan (Revisi 2)*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

Hadid, M., Ubudiyah, A., Apriyani, D. W. (2020). Alternatif Aspal Modifikasi Polimer dengan Menggunakan Sampah Plastik Kemasan Makanan, *Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur & Fasilitas*, 4(1).

Mujiarto, I. (2005). *Sifat dan karakteristik material plastik dan bahan aditif*. Traksi, 3(2):1-9.

Ismy, R., Husaini, Saleh, S. M., & Isya, M. (2021). Analysis Of The Effect Of Using Wire Mesh Layers On Hot Asphalt Mixtures With Modulus Of Elasticity. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *1087*(1), 012018.

Marwati, D.I., Indria, N., Lulusi, Salmannur, A. (2021). Pengaruh Substitusi Pet Dan Abu Bunga Pinus Menggunakan Metode Pencampuran Basah Dan Metode Pencampuran Kering Pada Campuran Laston AC-WC Terhadap Stabilitas. *Jurnal Arsip Rekayasa Sipil dan Perencanaan (JARSP),* 4(3), 124-1132.

Nasution, M. F. N. 2019. Pengaruh Penambahan Plastik PET (Polyethylene Terephthalate) Terhadap Karakteristik Campuran Laston AC-WC Di Laboratorium. *Medan : Bidang Studi Teknik Transportasi Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara.*

Novela, I., Robby., Salonten. (2022). Pengaruh Muatan Berlebih Kendaraan (Overload) terhadap Konstruksi Perkerasan Jalan Raya Pada Ruas Jalan Mahir-Mahar Kota Palangka Raya. *Serambi Engineering,* VII (4) 3901 – 3907.

Prameswari, P. A. Pratama, P. dan Herianto, D. 2016. Pengaruh Pemanfaatan PET Pada Laston Lapis Pengikat Terhadap Parameter Marshall. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain (JRSDD),* 4(2). 294–305.

Saodang, H. 2005. Konstruksi jalan raya. Bandung: Penerbit Nova.

Sukirman, S., 2003. "Campuran Beraspal Panas". Penerbit Granit : Bandung.

Yildirim, Y. (2007). Polymer modified asphalt binders. *Construction and Building Materials*, *21*(1), 66–72.