

Karakteristik Campuran Aspal Porus Dengan Limbah Plastik Polietilena Tereftalat (PET) Sebagai Bahan Tambah Pada Aspal

Muhammad Isfan Arif ¹⁾

Sasana Putra ²⁾

Dwi Herianto ³⁾

Rahayu Sulistyorini ⁴⁾

Abstract

Plastic waste, which is one of the biggest environmental pollutants, can open up opportunities to be utilized in the field of highway construction because it is easy to obtain and has a more economical price as a porous asphalt mixture. Referring to this, a research was carried out on the characteristics of a mixture of porous asphalt with polyethylene terephthalate (PET) plastic waste as an additive to asphalt. The purpose of this study was to determine the effect of the use of PET plastic waste on the characteristics of porous asphalt mixtures. The method used is a laboratory scale experimental method based on 3 types of testing, namely marshall, cantabro loss and asphalt flow down. The gradation in this study used the open graded Australian Asphalt Pavement Association (AAPA) 2004. The test results showed that the addition of PET could improve the performance of porous asphalt mixtures. Stability, density, MQ, and VFA values increase with the addition of PET content so that they can prevent fractures due to traffic loads. The decrease in the cantabro loss value makes the mixture's resistance to disintegration better. addition of PET content up to 7.5% can reduce the flow value so that the mixture has optimal flexibility. However, the recommended PET content should be below 5% because in this study the penetration and ductility values did not meet the general specifications for 2018 Highways.

Key words : porous asphalt, polyethylene terephthalate, marshall, cantabro loss, asphalt flow down.

Abstrak

Limbah plastik yang merupakan salah satu pencemaran lingkungan terbesar dapat membuka peluang untuk dimanfaatkan di bidang konstruksi jalan raya karena mudah didapat dan harganya yang lebih ekonomis sebagai bahan campuran aspal porus. Mengacu pada hal tersebut, maka dilakukan penelitian terhadap karakteristik campuran aspal porus dengan limbah plastik Polietilena Tereftalat (PET) sebagai bahan tambah pada aspal. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh dari penggunaan limbah plastik terhadap karakteristik pada campuran aspal porus. Metode yang digunakan adalah metode eksperimen skala laboratorium berdasarkan 3 jenis pengujian yaitu *marshall*, *cantabro loss* dan *asphalt flow down*. Gradasi pada penelitian ini menggunakan gradasi terbuka (*open graded*) Australian Asphalt Pavement Association (AAPA) 2004. Hasil Pengujian menunjukkan penambahan PET dapat meningkatkan kinerja campuran aspal porus. Nilai stabilitas, kepadatan, MQ, dan VFA meningkat seiring penambahan kadar PET sehingga dapat mencegah patah akibat beban lalu lintas. Nilai *cantabro loss* menurun membuat ketahanan campuran terhadap disintegrasi menjadi semakin baik. penambahan kadar PET sampai dengan 7,5% dapat menurunkan nilai *flow* sehingga campuran memiliki kelenturan yang optimal. Tetapi kadar PET yang disarankan sebaiknya dibawah 5% karena pada penelitian ini nilai penetrasi dan daktilitas tidak memenuhi spesifikasi umum bina marga tahun 2018.

Kata kunci : aspal porus, polietilena tereftalat, marshall, cantabro loss, asphalt flow down.

¹⁾ Mahasiswa S1 pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung.
Surel: muhammadisfanarif@gmail.com

²⁾ Dosen pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1 . Gedung Meneng Bandar Lampung. 35145.

³⁾ Dosen pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro no. 1. Gedung Meneng Bandar Lampung. 35145.

⁴⁾ Dosen pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro no. 1. Gedung Meneng Bandar Lampung. 35145.

I. PENDAHULUAN

Limbah plastik adalah salah satu sampah yang paling banyak ditemukan dan menjadi sumber pencemaran lingkungan hidup. Limbah plastik memiliki banyak sisi negatifnya seperti tercemarnya tanah, air tanah dan makhluk bawah tanah. Namun limbah plastik juga dapat membuka peluang untuk dimanfaatkan di bidang konstruksi jalan raya. Pada kesimpulan tesis (Asrar 2001) disebutkan bahwa penambahan limbah plastik dalam aspal akan memberikan pengaruh yang baik terhadap sifat-sifat aspal. Hasil pengujian marshall terhadap campuran beraspal yang mengandung plastik menunjukkan bahwa penambahan kadar plastik sampai dengan 3% pada aspal meningkatkan nilai stabilitas, berat isi, kepadatan agregat yang dipadatkan (CAD) dan *marshall quotient* campuran HRA. Selain itu, limbah plastik sangat mudah didapatkan dan juga bernilai ekonomis sebagai bahan campuran aspal yang dimana campuran beraspal masih merupakan lapis penutup perkerasan jalan yang dominan di Indonesia. Salah satu jenis campuran beraspal adalah campuran aspal porus.

(AAPA 2004) menentukan kadar rongga di dalam campuran aspal porus (VIM) bernilai 18%-25%. Karena nilai kadar rongga yang terlalu tinggi ini mengakibatkan campuran menjadi tidak padat, maka campuran beraspal porus ini umumnya sangat tergantung dari mutu dan kekakuan aspal sebagai bahan pengikat agregat. Dalam hal ini plastik mempunyai sifat kekakuan yang berpotensi untuk dijadikan sebagai bahan tambah pada campuran beraspal porus yang memerlukan aspal hasil modifikasi. Mengacu pada hal tersebut, maka perlu dilakukan penelitian terhadap karakteristik campuran aspal porus dengan limbah plastik Polietilena Tereftalat (PET) sebagai bahan tambah pada aspal.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Aspal Porus

Aspal porus adalah salah satu campuran aspal yang sedang dikembangkan untuk konstruksi *wearing course*. Lapisan ini menggunakan gradasi terbuka (*open graded*) yang didominasi oleh agregat kasar, sehingga menghasilkan rongga yang cukup besar. Aspal porus juga dikenal sebagai teknologi yang inovatif karena memungkinkan air masuk melalui rongga di permukaan aspal ke dalam tanah secara terus-menerus (Al-Jumaili 2016). Penelitian yang dilakukan oleh penulis ini berdasarkan kriteria perencanaan aspal porus sesuai standar (AAPA 2004) yang dapat dilihat pada tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Kriteria Perencanaan Aspal Porus

No	Kriteria Perencanaan	Nilai
----	----------------------	-------

Sumber: (AAPA 2004)

2.2 Gradasi Aspal Porus

Gradasi agregat gabungan untuk campuran aspal porus yang dikutip dari (AAPA 2004) menggunakan campuran aspal bergradasi terbuka. Tujuannya untuk memperbesar

rongga udara dalam campuran sehingga dapat mengalirkan air masuk ke dalam perkerasan dan meresap ke dalam tanah. Adapun rencana gradasi agregat campuran aspal porus pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Rencana Gradasi Agregat Aspal Porus

Ukuran Saringan (mm)	Agregat Maksimum 10 mm		
	Spesifikasi % Berat Lolos (AAPA, 2004)	% Berat yang Lolos	% Berat yang Tertahan
19,000	100	100	0
12,700	100	100	0
9,530	85 – 100	95	5
4,760	20 – 45	25	70
2,380	10 – 20	15	10
1,190	6 – 14	10	5
0,595	5 – 10	7,5	2,5
0,297	4 – 8	6	1,5
0,149	3 – 7	5	1
0,074	2 – 5	3,5	1,5
Pan			3,5

2.3 Aspal Keras Setara Kelas Kinerja (*Performance Grade, PG*)

(BSN 2017) SNI 8426:2017 tentang Spesifikasi Aspal Keras Setara Kelas Kinerja yang disusun untuk memenuhi kebutuhan pasar akan adanya spesifikasi mengenai aspal yang didasarkan pada kondisi di lapangan. Standar ini mengacu pada (AASHTO M 320-10 2015) *Standard Specification for Performance-Graded Asphalt Binder*. Dalam SNI 8426:2017 Pengujian untuk mengklasifikasi aspal *performance grade* menggunakan peralatan RGD (DSR, *Dynamic Shear Rheometer*) dan PAV (*Pressure Aging Vessel*), sedangkan peralatan BBR dan DTT tidak tersedia karena dianggap tidak sesuai dengan temperatur minimum di Indonesia (minimum 15 °C).

2.4 Limbah Plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*)

Plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) adalah resin polimer plastik termoplast dari kelompok polyester. Plastik PET merupakan polimer jernih dan kuat dengan sifat-sifat menahan gas dan kelembapan. Plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) pertama kali ditemukan pada tahun 1973, dan pertama kali di daur-ulang pada tahun 1977. PET (*Polyethylene Terephthalate*) merupakan resin polyester yang tahan lama, kuat, ringan dan mudah dibentuk ketika panas dengan kepekatannya sekitar 1,35 – 1,38 gram/cc (Nasution 2017). pencampuran plastik untuk menaikkan kinerja campuran beraspal terdapat dua cara yaitu dengan cara basah dan kering.

2.5 Karakteristik Campuran Aspal Porus

Karakteristik campuran aspal porus untuk menentukan kadar aspal optimum berdasarkan persyaratan (AAPA 2004) menggunakan tiga parameter yaitu *marshall*, *cantabro loss*, dan *asphalt flow down*. Adapun beberapa karakteristik *marshall*, *cantabro loss*, dan *asphalt flow down* untuk campuran aspal porus ditunjukkan pada nilai-nilai sebagai berikut.

1. Stabilitas
Pada penelitian ini stabilitas diperoleh menggunakan bacaan dial alat tekan *marshall* dan dikalibrasi agar mendapatkan nilai stabilitas dengan satuan kilogram (kg).
2. Flow
Nilai *flow* diperoleh dengan pembacaan jarum *proving ring* pada alat uji *marshall*.

3. *Void in Mix* (VIM)

Nilai VIM dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$VIM = 100 - \frac{100 \times \text{berat volume b.u.}}{B.J. \text{ maksimum teoritis}} \quad (1)$$

$$BJ = \frac{\frac{\%agr}{BJ.agr} + \frac{\%aspal}{BJ.aspal}}{100} \quad (2)$$

Dimana :

VIM = Rongga udara pada campuran setelah pemadatan (%)

B.J Teoritis = Berat jenis campuran maksimum teoritis setelah pemadatan (gr/cc)

4. *Marshall Quotient* (MQ)

Nilai MQ dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$MQ = \frac{S}{F}$$

Dimana :

MQ = *Marshall Quotient* (kg/mm)

S = nilai stabilitas *tenacity* (kg)

F = nilai *flow* (mm) $\frac{L}{Mo} \times 100$

5. *Cantabro Loss*

Nilai cantabro loss dapat dihitung menggunakan persamaan seperti berikut:

Dimana :

L = persentase kehilangan berat (%) $AFD = \frac{Mo - Mi}{Mo} \times 100$

Mo = berat sebelum diabrasi (gr)

Mi = berat setelah diabrasi (gr)

6. *Asphalt Flow Down*

Untuk menentukan nilai AFD digunakan uji pengaliran *asphalt flow down* seperti persamaan yang mengacu pada sebagai berikut:

Dimana :

AFD = nilai *asphalt flow down* (%)

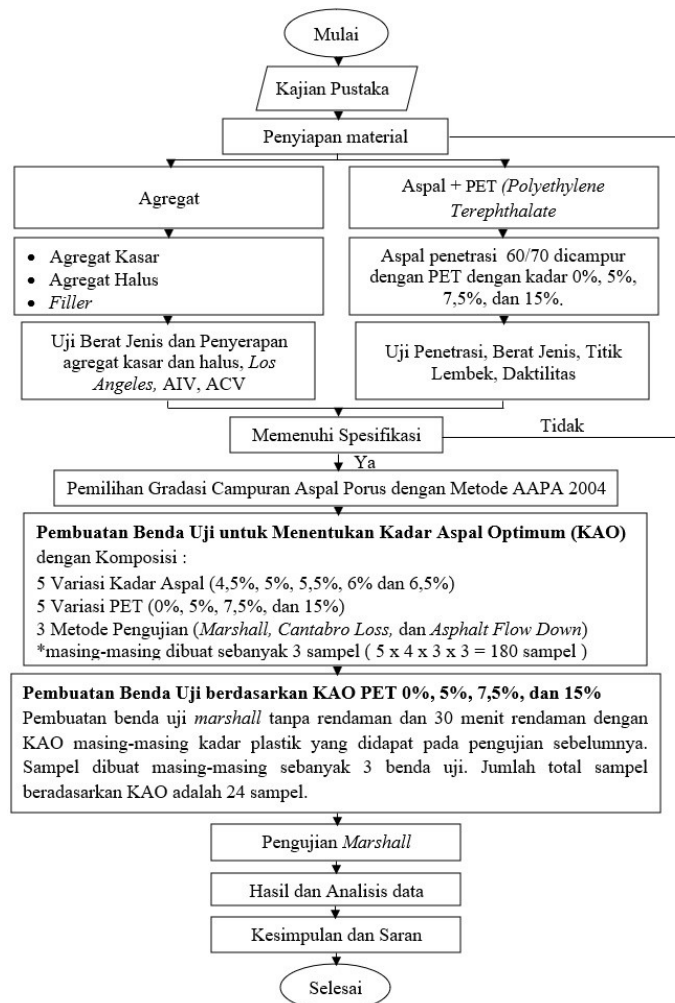
m1 = berat cetakan naman (gr)

m2 = berat cetakan beserta campuran aspal sebelum dioven (gr)

m3 = berat cetakan beserta campuran aspal sesudah dioven (gr)

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Inti Jalan Raya Teknik Sipil Universitas Lampung. Rancangan penelitian yang dilakukan oleh penulis dapat dilihat pada diagram alir dibawah ini.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Aspal

Pengujian aspal ini terdiri dari pengujian berat jenis, penetrasi, daktilitas dan titik lembek. Dalam penelitian ini didapat hasil pengujian aspal 0%, 5%, 7,5% dan 15% dapat dilihat di tabel 3 sebagai berikut.

Tabel 3. Hasil Pengujian Aspal

No	Kadar PET	Hasil uji kadar aspal			
		Berat Jenis (gr/cm ³)	Penetrasi (mm)	Daktilitas (cm)	Titik Lembek (°C)
1	0%	1,0148	65	132	51,5
2	5%	1,0416	46	90	55,5
3	7,5%	1,0514	42	70	56,5
4	15%	1,0912	27	43	61,5

Hasil pengujian aspal menunjukkan berat jenis semakin meningkat. Kekerasan aspal semakin meningkat akibat penambahan plastik PET yang ditunjukkan dengan nilai penetrasi yang meningkat. Titik lembek yang meningkat mengakibatkan ketahanan

lapisan terhadap peningkatan suhu semakin meningkat sehingga tidak mudah *bleeding*. Pada daktilitas, nilai keelastisan aspal berkurang dan tidak memenuhi spesifikasi (Bina marga 2018). Untuk itu kadar PET yang disarankan sebaiknya dibawah 5% karena penambahan PET yang berlebihan mengakibatkan aspal mudah retak. Namun perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui kinerja dari aspal keras (*performance grade*). Dimana pada buku yang ditulis oleh (Read and Whiteoak 2003) *Shell bitumen handbook fifth edition* tahun 2003 disebutkan bahwa di Amerika Serikat pada tahun 1987 telah dimulai *Strategic Highways Research Program* (SHRP) dan menghasilkan spesifikasi perkerasan yang disebut *superpave* (*superior performing pavement*). *Superpave* mengkategorikan kadar aspal sesuai dengan karakteristik kinerjanya (*performance grade*) dalam kondisi lingkungan yang berbeda. Dalam *superpave* sampel aspal yang telah melalui proses penuaan pada pengujian RTFOT ditempatkan di PAV untuk penuaan lebih lanjut. Setelah pengujian PAV, residu aspal digunakan untuk pengujian DSR. Hasil tes pada pengujian RTFOT yang dilakukan oleh *Shell Global Solutions* menunjukkan penurunan nilai penetrasi dan peningkatan titik lembek. Hal ini membuktikan bahwa *performance grade* aspal memiliki hubungan yang erat dengan nilai penetrasi dan titik lembek aspal. Untuk itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui kinerja aspal dengan bahan tambah PET.

4.2 Kadar Aspal Optimum

Penentuan KAO dengan metode (AAPA 2004) mensyaratkan tiga parameter yaitu VIM, *Cantabro Loss*, dan *Asphalt Flow Down*. Contoh metode untuk mencari KAO pada campuran PET 0% dapat dilihat pada grafik di bawah ini.

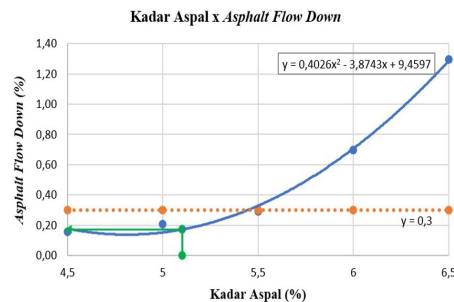
Gambar 2. Hubungan Kadar Aspal Dengan Nilai VIM Untuk Penentuan KAO

Dari grafik didapatkan persamaan $y = -3,7968x + 38,678$ dimana y adalah batas bawah dari nilai VIM yaitu 18% dan x adalah nilai kadar aspal maksimum (OAC Maksimum). Dari persamaan tersebut didapatkan nilai OAC maksimum sebesar 5,45%.

Gambar 3. Hubungan Kadar Aspal Dengan Nilai *Cantabro Loss* Untuk Penentuan KAO

Dari grafik didapatkan persamaan $y = -13,33x + 98,394$ dimana y adalah nilai *cantabro loss* maksimum yaitu 35% dan x adalah nilai kadar aspal minimum (OAC Minimum). Dari persamaan tersebut didapatkan nilai OAC min sebesar 4,76%. Kemudian dapat ditentukan nilai kadar aspal sementara yang diperoleh dari nilai rata-rata OAC maks dan OAC min sebesar 5,1%. kadar aspal sementara kemudian di plotting pada grafik AFD.

Dari persamaan tersebut didapatkan nilai OAC min sebesar 4,76%. Kemudian dapat ditentukan nilai kadar aspal sementara yang diperoleh dari nilai rata-rata OAC maks dan OAC min sebesar 5,1%. kadar aspal sementara kemudian di plotting pada grafik AFD.



Gambar 4. Hubungan Kadar Aspal Dengan Nilai AFD Untuk Penentuan KAO

Dari grafik didapatkan persamaan $y = 0,4026x^2 - 3,8743x + 9,4597$ dimana x merupakan nilai kadar aspal sementara yaitu 5,1% dan y adalah nilai AFD hasil plotting. Setelah didapatkan nilai AFD dapat diketahui nilai kadar aspal optimum menggunakan rumus dibawah ini.

$$\text{Kadar Aspal Optimum} = \frac{\text{OAC Maksimum} + \text{OAC Minimum}}{2} + \text{Nilai AFD} \quad (6)$$

Berdasarkan perhitungan di atas untuk kadar PET 0% diperoleh kadar aspal optimum yaitu 5,27% dari berat total campuran. Hasil pengujian kadar aspal optimum dapat dilihat pada tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4. Kadar Aspal Optimum

No	Kadar PET	Kadar Aspal Optimum
1	0%	5,27 %
2	5%	4,75 %
3	7,5%	4,64 %

Dikarenakan pada kadar plastik 15% nilai VIM, *Cantabro Loss*, dan *Asphalt Flow Down* tidak memenuhi syarat (AAPA 2004) maka tidak dapat ditentukan Kadar Aspal Optimum. Pada tabel dapat dilihat kadar aspal optimum semakin menurun seiring bertambahnya kadar PET pada campuran aspal porus. Penurunan nilai KAO dipengaruhi oleh nilai VIM, *cantabro loss*, dan *asphalt flow down* yang semakin menurun. Hal ini disebabkan kenaikan titik lembek aspal dan penurunan penetrasi sehingga campuran aspal dengan PET mengakibatkan aspal tersebut menjadi lebih lengket. Aspal yang lengket ini membuat aspal yang terserap oleh agregat semakin sedikit sehingga selimut aspal semakin tebal dan membuat rongga udara dalam campuran semakin kecil. Namun aspal yang semakin lengket ini dapat meningkatkan daya rekat antar agregatnya sehingga ketahanan campuran terhadap keausan semakin meningkat yang ditandai dengan nilai *cantabro loss* yang menurun. Pembahasan lebih lanjut tentang karakteristik aspal porus dengan penambahan PET yang mempengaruhi nilai kadar aspal optimum yang telah tercantum pada tabel 4 diatas akan dibahas pada sub bab berikutnya.

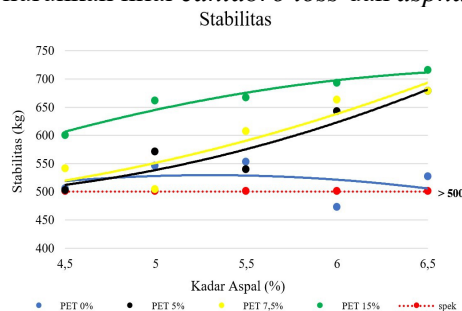
4.3 Karakteristik Campuran Aspal Porus Dengan Penambahan PET

Berikut hasil pengujian *marshall*, *cantabro loss*, dan *asphalt flow down* pada campuran aspal porus dengan penambahan PET dapat dilihat pada tabel 5 di bawah ini.

Tabel 5. Perbandingan Karakteristik Campuran Aspal Porus dengan Penambahan PET

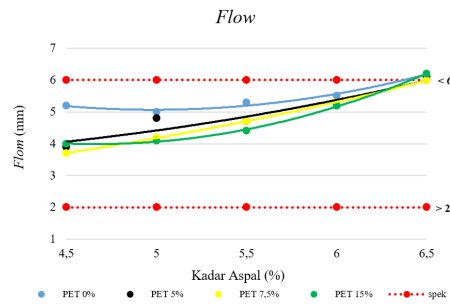
Kadar Aspal (%)	Kadar PET (%)	Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	VIM (%)	MQ (kg/mm)	Cantabro Loss (%)	AFD (%)
Spesifikasi		>500	2-6	18-25	<400	<35	<0,3
4,5	0	506,41	5,2	21,77	120,89	39,11	0,16
	5	502,77	3,9	19,01	129,29	37,79	0,12
	7,5	540,70	3,7	18,23	145,58	36,82	0,10
	15	599,98	4	15,30	129,52	19,12	0,10
5	0	545,15	5	19,45	145,99	32,42	0,21
	5	569,79	4,8	16,39	118,73	28,69	0,19
	7,5	503,94	4,2	15,27	119,67	26,93	0,18
	15	661,07	4,1	12,90	137,12	16,61	0,17
5,5	0	552,52	5,3	17,83	129,96	23,78	0,29
	5	538,49	4,7	14,95	115,44	21,46	0,28
	7,5	607,19	4,7	12,81	129,25	20,59	0,27
	15	667,16	4,4	9,98	117,16	15,04	0,25
6	0	472,46	5,5	15,86	87,51	16,18	0,70
	5	641,27	5,2	12,96	124,13	14,70	0,61
	7,5	663,64	5,3	11,18	125,27	13,90	0,59
	15	693,37	5,2	8,53	111,27	14,02	0,56
6,5	0	526,27	6,2	14,07	73,92	13,91	1,30
	5	678,42	6,1	12,05	111,89	11,41	1,10
	7,5	678,18	6	10,06	112,43	9,88	1,10
	15	715,25	6,2	7,79	111,24	10,79	1,08

Pada tabel diatas menunjukkan seiring penambahan kadar PET maka stabilitas meningkat dan *flow* menurun. Hal ini menunjukkan bahwa campuran cenderung kaku sehingga mudah retak bila menerima beban yang melebihi kapasitas daya dukungnya. Hal ini sejalan dengan peningkatan nilai MQ seiring penambahan kadar PET. Selain itu penambahan PET pada campuran mengakibatkan penurunan nilai VIM. Penambahan kadar PET juga dapat menurunkan nilai *cantabro loss* dan *asphalt flow down*.



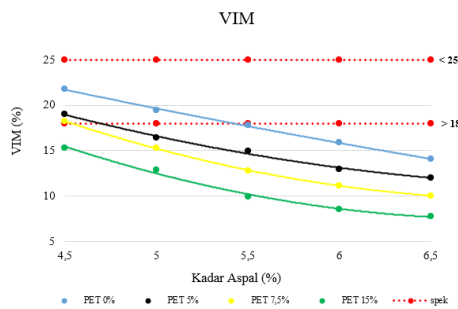
Gambar 5. Grafik Stabilitas Terhadap Penambahan PET

Berdasarkan dari grafik diatas, diperoleh bahwa perbandingan antara campuran PET berpengaruh pada meningkatnya nilai stabilitas. Nilai stabilitas tertinggi yakni pada campuran PET 15% dengan kadar aspal 6,5% yaitu 715,7 kg, sedangkan nilai Stabilitas terkecil pada campuran PET 0% dengan kadar aspal 6% yaitu 472,46 kg. Pada campuran PET ini memiliki pengaruh terhadap aspal *toughness* yakni dimana PET mampu meningkatkan stabilitas dan mencegah patah akibat beban lalu lintas dan hilangnya stabilitas. Dimana semakin tinggi stabilitas maka semakin baik campuran dalam suatu lapisan tersebut.



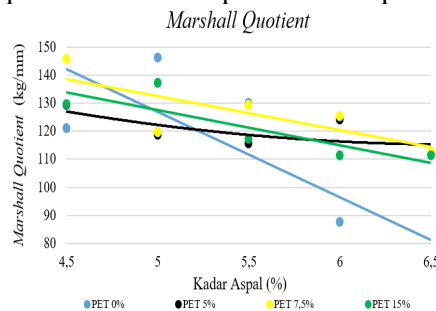
Gambar 6. Grafik *Flow* Terhadap Penambahan PET

Berdasarkan dari grafik diatas, diperoleh bahwa penambahan PET dalam campuran mengalami penurunan nilai flow. nilai flow terkecil terdapat pada campuran aspal porus dengan penambahan PET 7,5% pada kadar aspal 4,5% yaitu 3,7 mm dan nilai flow terbesar terdapat pada campuran aspal porus tanpa tambahan PET pada kadar aspal 6,5% yaitu 6,2 mm. Nilai *flow* menurun artinya nilai deformasi vertikal campuran saat dibebani hingga mengalami kehancuran semakin menurun. Hal ini disebabkan penambahan PET membuat penetrasi aspal semakin rendah sehingga menghasilkan lapis perkerasan yang tingkat fleksibilitasnya rendah. Tingkat fleksibilitas yang rendah mengakibatkan kemampuan lapisan untuk mengikuti deformasi akibat beban lalu lintas akan menurun.



Gambar 7. Grafik VIM Terhadap Penambahan PET

Berdasarkan dari grafik diatas, diperoleh bahwa campuran PET berpengaruh pada menurunnya nilai VIM. Hal ini diakibatkan oleh viskositas bahan ikat yang semakin tinggi yang diindikasikan dengan penurunan angka penetrasi dan kenaikan titik lembek. Viskositas yang tinggi membuat aspal menjadi semakin kental dan lengket. Aspal yang lengket membuat agregat kurang mampu menyerapnya, sehingga mengakibatkan terciptanya selimut aspal yang lebih tebal dan membuat rongga udara semakin mengecil. Nilai VIM terkecil terdapat pada campuran aspal porus dengan penambahan PET 15% pada kadar aspal 6,5% yaitu sebesar 7,79% dan nilai VIM terbesar terdapat pada campuran aspal porus tanpa tambahan PET pada kadar aspal 4,5% yaitu sebesar 21,77%.



Gambar 8. Grafik MQ Terhadap Penambahan PET

Berdasarkan dari grafik diatas, diperoleh bahwa campuran PET berpengaruh pada nilai *marshall quotient*. Pada campuran PET 0% nilai MQ lebih kecil dari pada campuran PET 7,5%. Akan tetapi, nilai MQ mengalami penurunan pada campuran PET 15%. Peningkatan nilai MQ menunjukkan bahwa sifat campuran tersebut semakin kaku yang dapat mengakibatkan campuran tersebut menjadi mudah patah atau getas.

Gambar 9. Grafik *Cantabro Loss* Terhadap Penambahan PET

Berdasarkan dari grafik diatas, diperoleh bahwa campuran PET berpengaruh pada penurunan nilai *cantabro loss* campuran tersebut. nilai *cantabro loss* terkecil terdapat pada campuran aspal porus dengan tambahan PET 7,5% pada kadar aspal 6,5% yaitu sebesar 9,88% dan nilai *cantabro loss* terbesar terdapat pada campuran aspal porus tanpa tambahan PET pada kadar aspal 4,5% yaitu sebesar 39,11%. Nilai *cantabro loss* yang semakin rendah artinya ketahanan campuran aspal terhadap disintegrasi semakin baik. Hal ini menunjukkan dengan penambahan kadar PET yang memiliki sifat thermoplastik menyebabkan lelehan PET ketika dingin menjadi kaku, sehingga mampu mengikat agregat lebih kuat.

Gambar 10. Grafik *Asphalt Flow Down* Terhadap Penambahan PET

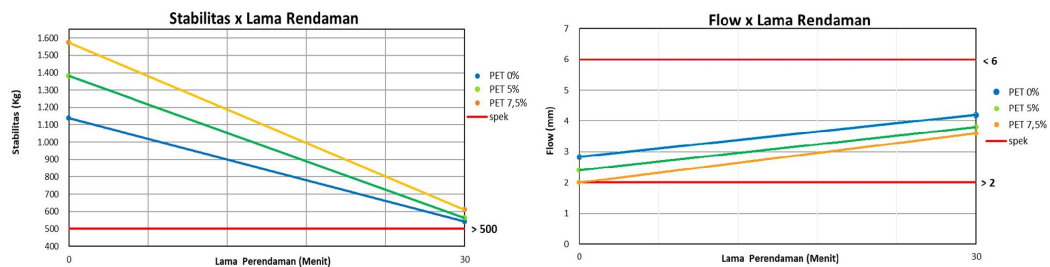
Berdasarkan dari grafik diatas, diperoleh bahwa campuran PET berpengaruh pada penurunan nilai *asphalt flow down*. Penurunan nilai *asphalt flow down* menunjukkan bahwa persentase kelelehan aspal pada campuran saat dipanaskan semakin menurun sehingga campuran lebih mudah terlepas pada *aluminium foil*.

4.4 Karakteristik Marshall Rendaman

Pengujian *marshall* ini digunakan untuk mengetahui nilai perbandingan karakteristik *marshall* tanpa rendaman dan dengan rendaman 30 menit. Pengujian *marshall* ini menggunakan parameter Stabilitas dan Kelelehan (*flow*). Pada pengujian ini menggunakan benda uji berdasarkan kadar aspal optimum (KAO) yang didapat dengan tambahan PET 0%, 5%, dan 7,5%. Metode pengujian yang dilakukan yaitu *marshall* tanpa rendaman dan dengan rendaman 30 menit dalam *waterbath* pada suhu 60°C.

Tabel 6. Pengaruh Rendaman Terhadap Stabilitas dan Flow Pada Setiap Nilai KAO

Sifat Marshall	Kadar PET	KAO (%)	Lama Rendaman (menit)	
			0	30
Stabilitas (Kg)	0% PET	5,27	1138,01	541,76
	5% PET	4,75	1381,27	562,34
	7,5% PET	4,64	1573,54	609,02
Flow (mm)	0% PET	5,27	2,8	4,2
	5% PET	4,75	2,4	3,8
	7,5% PET	4,64	2,0	3,6



Gambar 11. Grafik Stabilitas dan Flow Terhadap Lama Perendaman

Berdasarkan dari grafik diatas, diperoleh perbandingan nilai stabilitas dan *flow* tanpa rendaman dan dengan rendaman 30 menit. Semakin banyak kadar PET yang ditambahkan akan semakin meningkatkan nilai stabilitas baik saat tidak direndam maupun dengan rendaman 30 menit. Hal ini menunjukkan campuran aspal porus dengan penambahan kadar PET sampai dengan 7,5% dapat bertahan terhadap kondisi suhu dan air di jalan raya. Campuran aspal porus tanpa tambahan PET ketika direndam memiliki nilai *flow* yang tinggi. Karena curah hujan yang tinggi di Indonesia, lapisan perkerasan di jalan raya dapat tergenang oleh air lebih lama dibandingkan dengan perendaman 30 menit pada penelitian ini. Maka dapat diasumsikan nilai *flow* semakin meningkat pada saat tergenang air di jalan raya. Nilai *flow* yang terlalu tinggi mengakibatkan lapisan perkerasan mudah mengalami penggemukan (*bleeding*). Dalam penelitian ini didapatkan hasil penambahan kadar PET sampai dengan 7,5% dapat menurunkan nilai *flow* sehingga campuran memiliki kelenturan yang optimal dan kemampuan untuk mengikuti deformasi vertikal menjadi lebih baik.

4.5 Perbandingan Karakteristik Dengan Penelitian Sebelumnya

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Supriyadi *et al.* 2018) tentang Kajian Eksperimental Campuran Aspal Porus Dengan Bahan Tambahan Plastik HDPE (High Density Poly Ethylene) Pada penelitian tersebut stabilitas semakin meningkat dengan nilai stabilitas terbesar pada penambahan HDPE 15% sebesar 514,43 kg, *flow* meningkat dengan nilai *flow* terbesar pada penambahan HDPE 20% sebesar 3,3 mm, VIM menurun dengan nilai VIM terendah pada penambahan HDPE 20% sebesar 14,22%, *cantabro loss* menurun dengan nilai *cantabro loss* terkecil pada penambahan HDPE 15% sebesar 17,79%, dan AFD menurun dengan nilai AFD terendah pada penambahan HDPE 20% sebesar 0,0302%. Sedangkan pada penelitian di jurnal ini, stabilitas semakin meningkat dengan nilai stabilitas terbesar pada penambahan PET 15% sebesar 715,7 kg, *flow* menurun dengan nilai *flow* terbesar tanpa penambahan PET sebesar 6,2 mm, VIM menurun dengan nilai VIM terendah pada penambahan PET 15% sebesar 7,79%, *cantabro loss* menurun dengan nilai *cantabro loss* terkecil pada penambahan PET 7,5% sebesar 9,88%, dan AFD menurun dengan nilai AFD terendah pada penambahan PET

7,5% sebesar 0,1%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penambahan plastik HDPE dan PET pada campuran aspal porus mempunyai karakteristik yang sama pada stabilitas, VIM, *cantabro loss*, dan AFD. Selain itu, penambahan plastik HDPE dapat meningkatkan nilai *flow* campuran aspal porus sedangkan penambahan plastik PET dapat menurunkan nilai *flow* campuran aspal porus.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium, dapat disimpulkan bahwa penambahan PET sampai dengan 7,5% dapat meningkatkan kinerja campuran aspal porus. Karena campuran aspal porus memiliki rongga yang besar, maka dibutuhkan kualitas campuran yang baik untuk mencegah patah akibat pengaruh beban lalu lintas. Dalam hal ini penambahan PET pada campuran aspal porus dapat meningkatkan kualitas campuran menjadi lebih baik yang ditunjukkan dengan nilai stabilitas dan MQ yang semakin meningkat. Selain itu, Penambahan PET dapat menghemat biaya pembuatan lapis perkerasan karena aspal yang dibutuhkan semakin sedikit yang ditunjukkan dengan nilai KAO yang semakin menurun.

Penambahan PET pada penelitian ini dapat meningkatkan titik lembek dan menurunkan nilai *asphalt flow down* yang membuat campuran aspal semakin tahan terhadap peningkatan suhu. Penambahan PET membuat ketahanan campuran terhadap disintegrasi menjadi semakin baik yang ditandai dengan nilai *cantabro loss* yang semakin menurun. Namun rongga udara menjadi lebih rapat sehingga fungsi campuran untuk mengalirkan air menjadi kurang maksimal yang ditandai dengan nilai VIM yang semakin menurun.

Karena waktu terendahnya permukaan perkerasan di jalan raya tidak hanya terbatas 30 menit untuk kondisi drainase yang kurang baik, tetapi bisa lebih dari satu hari. Maka dapat diasumsikan nilai *flow* semakin meningkat pada saat tergenang air di jalan raya. Nilai *flow* yang terlalu tinggi mengakibatkan lapisan perkerasan mudah mengalami penggemukan (*bleeding*). Dalam penelitian ini didapatkan hasil penambahan kadar PET sampai dengan 7,5% dapat menurunkan nilai *flow* sehingga campuran memiliki kelenturan yang optimal dan kemampuan untuk mengikuti deformasi vertikal menjadi lebih baik.

Kadar PET yang disarankan sebagai bahan tambah pada aspal sebaiknya dibawah 5% karena pada penelitian ini nilai penetrasi dan daktilitas tidak memenuhi spesifikasi umum bina marga tahun 2018. Untuk itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui kinerja dari aspal keras (*performance grade*). Dimana dalam SNI 8426:2017 tentang spesifikasi aspal keras setara kelas kinerja menyatakan kekakuan aspal yang semakin besar mampu menahan deformasi. Dalam hal ini PET yang memiliki sifat kekakuan dapat ditambahkan ke dalam campuran sehingga campuran aspal tersebut menjadi lebih kaku.

DAFTAR PUSTAKA

- AAPA, 2004. *National Asphalt Specification*.
AASHTO M 320-10, 2015. *Standard Specification for Performance Graded Asphalt Binder*.
Al-Jumaili, M.A.H., 2016. Laboratory Evaluation of Modified Porous Asphalt Mixtures. *Applied Research Journal*, 2 (3), 104–117.
Asrar, Y.D., 2001. Karakteristik Aspal dengan Bahan Tambah Plastik dan Kinerjanya dalam Campuran HRA.

- Bina marga, 2018. *Spesifikasi umum 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan*.
- BSN, 2017. *SNI 8426:2017 Spesifikasi aspal setara kelas kinerja*.
- Nasution, M.F.N., 2017. Pengaruh Penambahan Plastik PET (Polyethylene Terephthalate) Terhadap Karakteristik Campuran Laston AC-WC Di Laboratorium.
- Read, J. and Whiteoak, D., 2003. *Shell Bitumen Handbook Fifth Edition*.
- Supriyadi, I.R.D., Rahardjo, B., and Pranoto, 2018. Kajian Eksperimental Campuran Aspal Porus Dengan Bahan Tambahan Plastik HDPE (High Density Poly Ethylene). *Jurnal Bangunan*, 23 (2), 19–28.

