

Pengaruh Limbah Plastik Sebagai Bahan Tambah Pengikat Aspal Terhadap Kekuatan Campuran *Asphalt Concrete-Binder Course* (AC-BC)

Muhammad Rafly Novendra¹⁾

Sasana Putra²⁾

Dwi Herianto³⁾

Rahayu Sulistyorini⁴⁾

Abstract

Asphalt can be modified using polymers which are classified into four main groups, namely: elastomers, thermoplastics, plastomers and reactive polymers. When polymers are added to the mixture it can increase the strength to a higher level. The purpose of this research is to determine the effect of adding Polyethylene Terephthalate (PET) plastic waste to the Asphalt Concrete-Binder Course (AC-BC) mixture on marshall characteristics which refer to the 2018 Bina Marga specifications. The addition of plastic to the mixture is carried out using a wet method, namely by Add plastic to hot asphalt then mix until homogeneous so that the asphalt and plastic are mixed thoroughly. Marshall characteristics consist of Void in Mix (VIM), Void Mineral Aggregate (VMA), Void Filled Asphalt (VFA), stability, meltability (Flow), and Marshall Quotient (MQ). When adding Polyethylene Terephthalate (PET) plastic with levels of 1%, 2%, 3%, 4% and 5%, the Optimum Asphalt Content (KAO) obtained was 5.68%; 5.56%; 5.45%; 5.35%; and 5.28%. From marshall testing, the addition of Polyethylene Terephthalate (PET) will improve several marshall characteristics, including stability, VIM, VMA, and MQ. The flow and VFA values decreased.

Key words : AC-BC, PET, marshall test, Bina Marga 2018 specifications.

Abstrak

Aspal dapat dimodifikasi dengan menggunakan polimer yang diklasifikasikan menjadi empat kelompok utama, yaitu: *elastomer*, *termoplastik*, *plastomer*, dan polimer reaktif. Ketika polimer ditambahkan ke campuran dapat meningkatkan kekuatan yang lebih tinggi. Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan limbah plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) pada campuran *Asphalt Concrete-Binder Course* (AC-BC) terhadap karakteristik *marshall* yang mengacu pada spesifikasi Bina Marga tahun 2018. Penambahan plastik kedalam campuran dilakukan dengan cara basah yaitu dengan menambahkan plastik kedalam aspal panas lalu dicampur hingga homogen agar aspal dan plastik tercampur dengan menyeluruh. Karakteristik *marshall* terdiri dari *Void in Mix* (VIM), *Void Mineral Aggregate* (VMA), *Void Filled Asphalt* (VFA), stabilitas, kelelahan (*Flow*), dan *Marshall Quotient* (MQ). Pada penambahan plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) dengan kadar 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5% Kadar Aspal Optimum (KAO) yang didapat ialah 5,68%; 5,56%; 5,45%; 5,35%; dan 5,28%. Dari pengujian *marshall*, penambahan *Polyethylene Terephthalate* (PET) akan meningkatkan beberapa karakteristik *marshall* antara lain stabilitas, VIM, VMA, dan MQ. Untuk nilai *flow* dan VFA mengalami penurunan.

Kata kunci : AC-BC, PET, pengujian *marshall*, spesifikasi Bina Marga 2018.

¹⁾ Mahasiswa pada Program Studi S1 Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Surel: mraflyn@gmail.com

²⁾ Dosen pengajar pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedong Meneng Bandar lampung. 35145.

³⁾ Dosen pengajar pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.

⁴⁾ Dosen pengajar pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.

I. PENDAHULUAN

Lapisan aspal beton (laston) AC-BC adalah salah satu komponen struktur lapisan perkerasan lentur. Lapisan AC-BC berada diantara lapisan permukaan (AC-WC) dan lapisan pondasi atas. Lapisan AC-BC digunakan karena dapat menghasilkan stabilitas yang mampu mendukung beban berat kendaraan secara baik.

Dalam penggunaannya perkerasan jalan banyak mengalami gangguan atau kerusakan yang disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya mutu atau kualitas jalan yang tidak sesuai klasifikasi yang menyebabkan kinerja perkerasan jalan dan umur jalan menjadi lebih singkat. Untuk mencegah terjadinya kerusakan pada perkerasan jalan, bisa ditambahkan bahan pengikat yang dapat berupa campuran agregat dan bahan tambah lainnya untuk meningkatkan stabilitas dan durabilitas aspal tersebut.\

Polyethylene Terephthalatae (PET) adalah polimer sintetis termoplastik semi-kristal yang memiliki umur panjang karena tahan terhadap *biodegradasi* dan sebagai hasilnya sejumlah besar limbah PET terakumulasi. Indonesia menempati urutan terbesar kedua sebagai negara penghasil sampah plastik yang mengotori samudera setelah China. Setiap tahunnya Indonesia diperkirakan menyumbang 1.29 juta metrik ton, setingkat dibawah dari negara Republik Rakyat China yang menyumbang sekitar 3.53 metrik ton setiap tahunnya.(Wicaksono dan Arijanto 2017)

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh penambahan plastik jenis *Polyethylene Terephthalatae* (PET) pada campuran AC-BC (*Asphalt concrete Binder Course*) sebagai tambahan bahan pengikat. Berdasarkan penelitian yang dilakukan (Prameswari *et al.* 2016), Dari hasil pengujian dan analisis Marshall, penambahan PET pada campuran aspal beton lapis pengikat dapat meningkatkan nilai stabilitas. Nilai stabilitas terbesar yaitu pada penambahan PET 2 %. Kadar PET yang ditambahkan pada campuran yaitu 2%, 4%, 6%, 8%, dan 10% dari berat aspal.

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Universitas Lampung, jenis lapisan yang ditinjau adalah campuran lapis AC-BC, menggunakan aspal penetrasi 60/70 dan uji *Marshall* dengan standar 2x75 tumbukan.

Nilai karakteristik campuran dari pengujian Marshall antara lain *Void in Mix* (VIM), *Void Mineral Agrgregate* (VMA), *Void Filled Asphalt* (VFA), stabilitas, kelelahan (*Flow*), dan *Marshall Quotient* (MQ).

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Lapisan Aspal Beton (Laston)

Lapisan aspal beton adalah lapisan pada struktur perkerasan yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat, dicampur dan dihampar dalam keadaan panas serta dipadatkan dengan suhu tertentu. Lapisan yang terdiri dari campuran aspal keras (AC) dan agregat yang mempunyai gradasi menerus, dicampur dan dipadatkan pada suhu tertentu. Ciri lainnya ialah memiliki sedikit rongga dalam struktur agregatnya, saling mengunci satu dengan yang lainnya, oleh karena itu aspal beton memiliki sifat stabilitas tinggi dan relatif kaku. Ketentuan sifat-sifat campuran laston (AC) dapat dilihat pada (Direktorat Jenderal Bina Marga 2018) Tabel 6.3.3.1c).

2.2. Agregat

Agregat adalah partikel mineral yang berbentuk butiran-butiran yang merupakan salah satu penggunaan dalam kombinasi dengan berbagai macam tipe mulai dari sebagai bahan material di semen untuk membentuk beton, lapis pondasi jalan, material pengisi. Agregat merupakan komponen utama dari struktur perkerasan jalan, yaitu 90-95% agregat berdasarkan persentase berat atau 75- 85% agregat berdasarkan persentase volume. Berdasarkan ukurannya, agregat dibagi menjadi 3 jenis yaitu: agregat kasar, agregat halus, bahan pengisi (*filler*). Ketentuan agregat dapat dilihat pada (Direktorat Jenderal Bina Marga 2018) Tabel 6.3.2.1a) untuk agregat kasar, dan Tabel 6.3.2.2) untuk agregat halus.

2.3. Gradasi Agregat

Gradasi agregat dinyatakan dalam persentase berat masing-masing contoh yang lolos pada saringan tertentu. Persentase ini ditentukan dengan menimbang agregat yang lolos atau tertahan pada masing-masing saringan (Buku 1: Petunjuk umum, Manual Pekerjaan Campuran Beraspal Panas). Gradasi agregat menentukan besarnya rongga atau pori yang mungkin terjadi dalam agregat campuran. Amplop gradasi agregat gabungan untuk campuran beraspal dapat dilihat pada (Direktorat Jenderal Bina Marga 2018) Tabel 6.3.2.3).

2.4. Aspal

Aspal atau Bitumen merupakan zat perekat material yang berwarna hitam kecoklatan atau gelap, berbentuk padat atau semi padat, dan dapat diperoleh di alam ataupun merupakan residu dari pengkilangan minyak bumi. Banyaknya aspal pada campuran perkerasan jalan berkisar antara 4-10% berdasarkan berat campuran atau 10-15% berdasarkan volume campuran. Aspal Modifikasi merupakan aspal minyak yang ditambah dengan bahan tambah (*additive*) untuk meningkatkan kinerjanya. Polymer adalah jenis bahan tambah yang sering digunakan saat ini, sehingga aspal modifikasi sering disebut juga aspal polymer. Diyakini bahwa kegagalan awal perkerasan aspal (misalnya rutting) biasanya disebabkan oleh sifat kekuatan campuran yang tidak memadai, sedangkan kegagalan jangka panjang adalah akibat dari kelelahan yang signifikan pada struktur perkerasan (Abojaradeh 2013). Ketentuan untuk aspal keras penetrasi dapat dilihat pada (Direktorat Jenderal Bina Marga 2018) Tabel 6.3.2.5).

2.5. Polyethylene Terephthalate (PET)

Menurut (Mujiarto 2005), *Polyethylene Terephthalate* yang sering disebut PET dengan rumus kimia ($C_{10}H_8O_3$) dibuat dari glikol (EG) dan *terephthalic acid* (TPA) atau *dimethyl ester* (DMT). *Polyethylene* merupakan film yang lunak, transparan dan fleksibel, mempunyai kekuatan benturan serta kekuatan sobek yang baik. PET mempunyai sifat termoplastik seperti aspal yaitu pada suhu tinggi akan mencair, pada suhu lingkungan akan menjadi keras. Pemanfaatan PET sebagai aditif meningkatkan volumetrik dan sifat *Marshall* dari aspal matriks batu, sangat meningkatkan umur kelelahan dan mengurangi pengembangan regangan permanen (Baghaee Moghaddam *et al.* 2014). Cara penambahan Plastik *polyethylene Terephthalate* (PET) kedalam campuran aspal dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu dengan cara basah dan kering. Cara basah dilakukan dengan mencampurkan plastik kedalam aspal panas dan diaduk sampai homogen. Pencampuran secara basah, akan menunjukkan ketahanan alur yang lebih baik dan rasio kekuatan tarik yang lebih tinggi dan pencampuran kering menghasilkan ketahanan yang lebih baik terhadap kerusakan kelembaban permanen (Earnest 2015). Penambahan PET juga harus diperhatikan karena penambahan plastik PET terhadap aspal dapat

mempengaruhi hasil dari pengujian aspal. berdasarkan penelitian yang dilakukan (Suhardi *et al.* 2016) semakin meningkatnya kadar plastik yang ditambahkan, maka parameter *marshall* akan mengalami perubahan yang cenderung tidak memenuhi spesifikasi.

III. METODE PENELITIAN

3.1. Prosedur Penelitian

Pada penelitian ini hal yang pertama dilakukan ialah menguji bahan-bahan yang akan digunakan antara lain agregat kasar, agregat halus, dan aspal pen 60/70 yang sudah dimodifikasi dengan menambahkan PET dengan variasi kadar 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5%. Untuk agregat kasar pengujian yang dilakukan terdiri dari pengujian berat jenis dan penyerapan agregat, *Los Angeles, Aggregate Crushing Value (ACV)*, dan *Aggregate Impact Value (AIV)*. Untuk menguji agregat halus dilakukan pengujian berat jenis dan penyerapan. Setelah dicampurkan dengan PET secara basah, Aspal pen 60/70 diuji dengan pengujian berat jenis, penetrasi, daktilitas, dan titik lembek. Setelah bahan – bahan sudah memenuhi spesifikasi, dilanjutkan dengan pembuatan benda uji dengan 5 kadar aspal yaitu 4,5% hingga 6,5% dimana benda uji dibuat dengan masing – masing aspal yang sudah ditambahkan dengan PET sebanyak 1% hingga 5%. Untuk tiap kadar aspal dari tiap kadar PET dibuat 3 benda uji sehingga total benda uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebanyak 75 benda uji (5 x 5 x 3). Setelah melakukan pembuatan benda uji, dilakukan uji *marshall* sehingga didapatkan Kadar Aspal Optimum (KAO) dan dapat ditarik kesimpulan.

3.2. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium inti jalan raya jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung.

3.3. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen dimana akan dilakukan percobaan yang akan menghasilkan data. Pada tahap pengujian akan digunakan metode *marshall* yang memiliki beberapa karakteristik *marshall* antara lain:

1. Stabilitas

Stabilitas (*Stability*) adalah kemampuan suatu campuran aspal untuk menerima beban sampai terjadi kelelahan plastis yang dinyatakan dalam kilogram atau pond.

2. Kelelahan

Kelelahan atau *flow* adalah perubahan bentuk plastis suatu campuran aspal yang terjadi akibat beban sampai batas runtuh yang dinyatakan dalam mm.

3. Rongga Dalam Campuran

Voids In Mix (VIM) adalah Rongga udara yang dihasilkan ditentukan oleh susunan partikel agregat dalam campuran serta ketidakseragaman bentuk agregat.

4. Rongga Dalam Agregat

Void in Mineral Aggregate (VMA) adalah volume rongga yang terdapat diantara butir-butir agregat dari suatu campuran beraspal yang telah dipadatkan, termasuk didalamnya rongga udara dan rongga yang terisi aspal efektif yang dinyatakan dalam persen volume.

5. Rongga Terisi Aspal

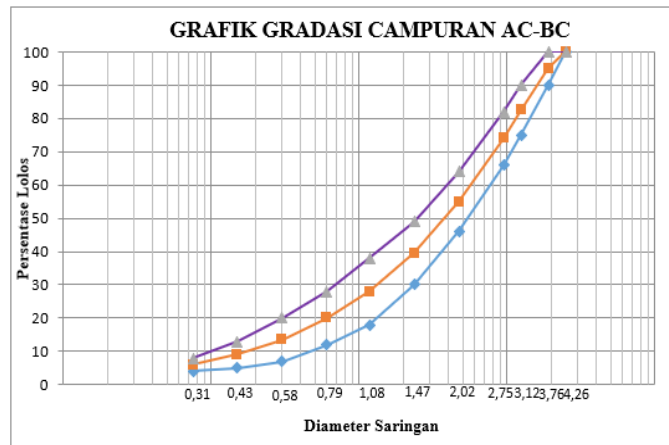
Void Filled with Bitumen (VFA) merupakan persentase rongga yang terdapat diantara partikel agregat yang terisi oleh aspal. Persentase rongga campuran yang berisi aspal nilainya akan naik berdasarkan naiknya kadar aspal sampai batas tertentu.

6. Marshall Quotient

Marshall Quotient adalah nilai pendekatan yang hampir menunjukkan nilai kekakuan suatu campuran beraspal dalam menerima beban.

3.4. Perencanaan Gradasi Agregat

Pada penelitian ini gradasi agregat yang digunakan adalah nilai tengah dari nilai atas dan bawah dari gradasi agregat lapisan AC-BC menurut (Direktorat Jenderal Bina Marga 2018). Adapun rencana gradasi agregat dapat dilihat pada gambar 1. berikut:



Gambar 1. Grafik Rencana Gradasi Agregat

3.5. Pengujian menggunakan alat *marshall*

Pengujian *marshall* dilakukan untuk mengetahui karakteristik campuran aspal. Untuk ketentuan pengujian *marshall* campuran modifikasi dapat dilihat pada (Direktorat Jenderal Bina Marga 2018) Tabel 6.3.3.1).

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengujian Agregat

Pengujian material dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Universitas Lampung. Untuk hasil pengujian agregat dapat dilihat pada Tabel 1:

Tabel 1. Hasil Pengujian Agregat

No.	Pengujian	Satuan	Syarat	Hasil
A. Agregat Kasar (SNI 03-1969-1990)				
1.	Berat jenis <i>Bulk</i>	gr/cm	>2,5	2,6565
2.	Berat jenis SSD	gr/cm	>2,5	2,6747
3.	Berat jenis semu	gr/cm	>2,5	2,7058
4.	Penyerapan	%	<3	0,6857
B. Agregat Halus (SNI 03-1969-1990)				
1.	Berat jenis <i>Bulk</i>	gr/cm	>2,5	2,6395
2.	Berat jenis SSD	gr/cm	>2,5	2,7027
3.	Berat jenis semu	gr/cm	>2,5	2,8177
4.	Penyerapan	%	<3	2,3961
C. <i>Los Angeles Test</i> (SNI 03-2417:2008)				
		%	Maks.40	15,71
D. <i>Aggregate Impact Value</i> (BS 812:part 3:1975)				
		%	Maks.30	7,38
D. <i>Aggregate Crushing Value</i> (BS 812:part 3:1975)				
		%	Maks.30	0,77

4.2. Hasil Pengujian Aspal

Hasil pengujian aspal dengan campuran *Polyetyhelene Terephalte (PET)* dengan kadar campuran 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5% dapat dilihat pada tabel 2 sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil Pengujian Aspal

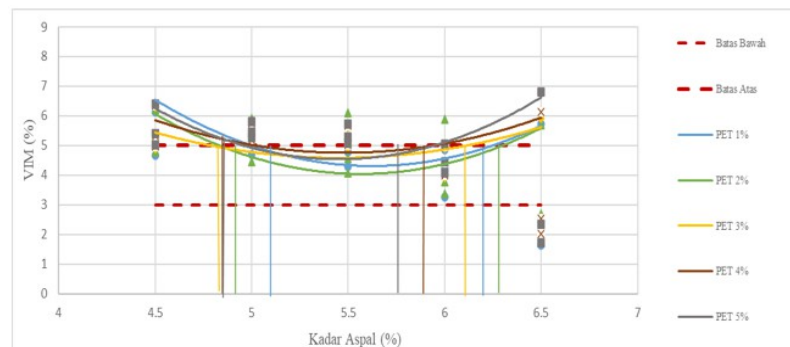
No.	Kadar PET (%)	Pengujian			
		Berat jenis (gr/cm ³)	Penetrasi (mm)	Daktilitas (cm)	Titik Lembek (°C)
1.	1	1,0213	62	125	50
2.	2	1,0305	56	125	53
3.	3	1,0342	50	112	54
4.	4	1,0393	48	107	54
5.	5	1,0410	46	96	55

4.3. Pengaruh PET terhadap Parameter dan Karakteristik Marshall

Dari pengujian Marshall akan dilakukan perhitungan untuk mengetahui nilai-nilai karakteristik Marshall antara lain Stabilitas, Kelelahan (*flow*), Marshall Quointient (MQ), Rongga antar agregat (VMA), Rongga dalam campuran (VIM), Rongga terisi aspal (VFA). Berikut adalah hasil pengujian nilai-nilai karakteristik marshall dengan campuran PET dengan kadar 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5%:

4.3.1. Pengaruh PET terhadap *Void In Mix* (VIM)

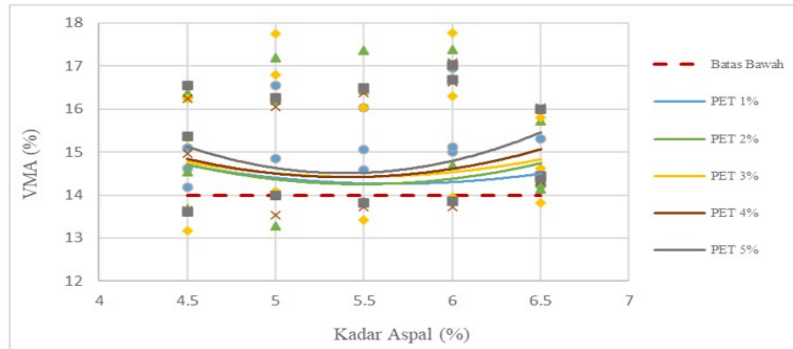
Nilai VIM yang didapat mengalami peningkatan seiring bertambahnya kadar campuran PET dikarenakan aspal menjadi lebih kaku sehingga rongga pada campuran tidak terisi dengan sempurna. Nilai VIM yang terlalu besar dapat meningkatkan proses oksidasi aspal yang akan mempercepat penuaan aspal, jika terlalu kecil akan mengakibatkan perkerasan mengalami *bleeding* jika mengalami kenaikan suhu. Spesifikasi bina marga 2018 memberikan syarat yaitu sebesar 3 – 5 % untuk nilai VIM.



Gambar 2. Grafik Hubungan Kadar Aspal Dengan Nilai VIM

4.3.2. Pengaruh PET terhadap *Void Mineral Aggregate* (VMA)

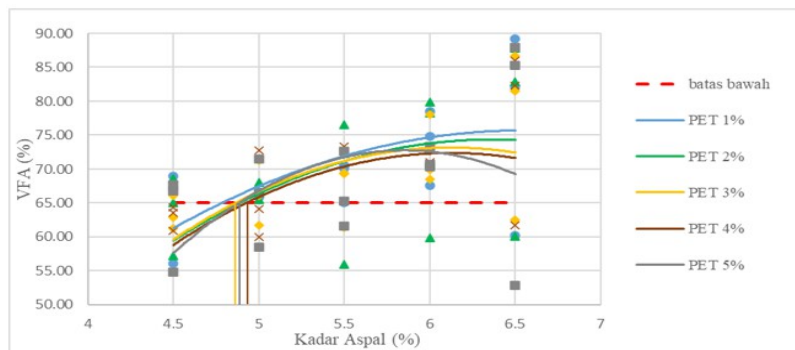
nilai VMA mengalami peningkatan seiring bertambahnya kadar PET. Hal ini disebabkan karena adanya pengaruh serat halus plastik terhadap aspal yang membuat sifat aspal menjadi plastis, dengan sifat aspal yang lebih plastis maka nilai VMA juga akan menjadi lebih tinggi. Spesifikasi bina marga 2018 memberikan syarat minimum yaitu sebesar 14% untuk nilai VMA.



Gambar 3. Grafik Hubungan Kadar Aspal Dengan Nilai VMA

4.3.3. Pengaruh PET terhadap Void Filled Asphalt (VFA)

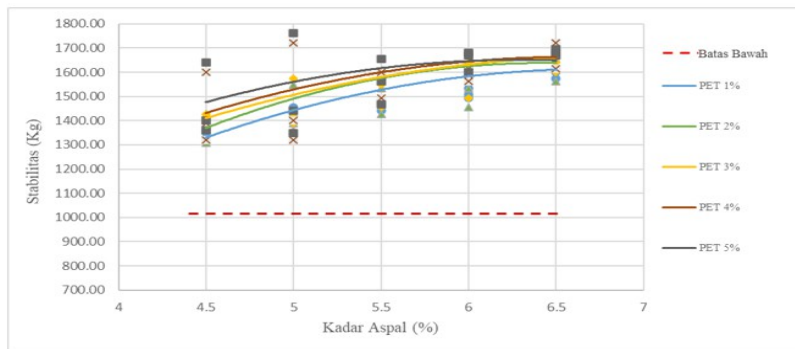
nilai VFA pada campuran yang ditambahkan PET mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya kadar PET. Hal tersebut diakibatkan karena dengan penambahan PET, aspal akan semakin getas sehingga aspal kurang mengisi rongga-rongga yang ada. Nilai VFA berhubungan erat dengan nilai stabilitas dan juga nilai durabilitas. Spesifikasi bina marga 2018 memberikan syarat minimum yaitu sebesar 65% untuk nilai VFA.



Gambar 4. Grafik Hubungan Kadar Aspal Dengan Nilai VFA

4.3.4. Pengaruh PET terhadap stabilitas

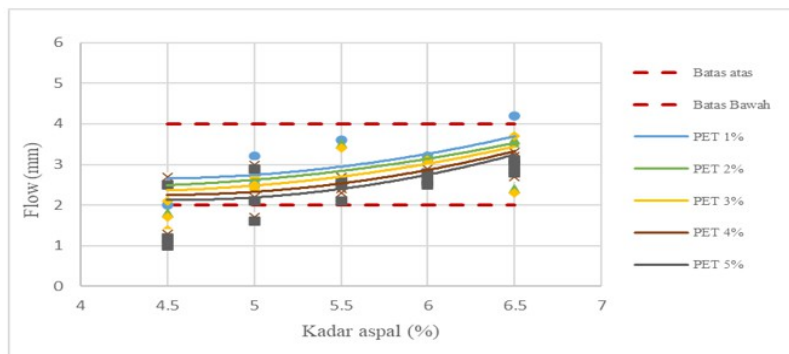
Nilai stabilitas mengalami peningkatan seiring bertambahnya kadar PET yang ditambahkan. Peningkatan pada nilai stabilitas diakibatkan karena dengan ditambahkan PET sebagai bahan *additive* mengalami kelelahan sehingga ikatan antara aspal dengan agregat semakin kuat. Nilai stabilitas yang terlalu tinggi akan mengakibatkan penebalan pada selaput aspal sehingga aspal mudah bergeser dan dapat menyebabkan deformasi campuran. Spesifikasi bina marga 2018 memberikan syarat minimum yaitu sebesar 800 untuk nilai stabilitas.



Gambar 5. Grafik Hubungan Kadar Aspal Dengan Nilai Stabilitas

4.3.5. Pengaruh PET terhadap kelelahan (*Flow*)

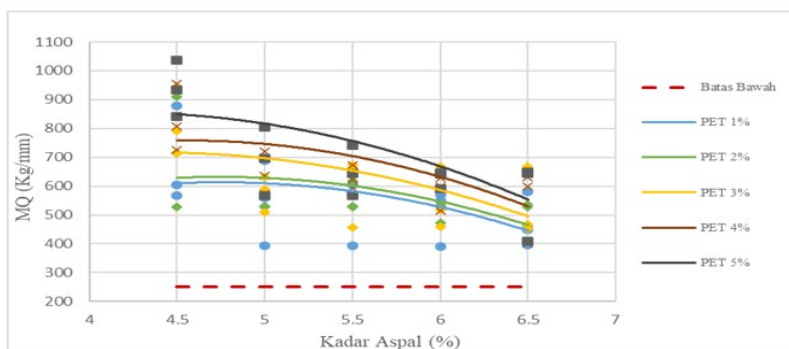
Nilai *flow* mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar PET yang ditambahkan. Hal tersebut dikarenakan dengan menambahkan PET mengakibatkan nilai dari penetrasi aspal semakin turun yang diartikan bahwa aspal tersebut menjadi semakin keras. Spesifikasi bina marga 2018 memberikan syarat yaitu sebesar 2,0 – 4,0 mm untuk nilai *flow*.



Gambar 6. Grafik Hubungan Kadar Aspal Dengan Nilai *flow*

4.3.6. Pengaruh PET terhadap *Marshall Quotient* (MQ)

Nilai *Marshall Quotient* mengalami peningkatan seiring bertambahnya kadar PET yang disebabkan karena adanya penambahan nilai stabilitas dan juga penurunan pada nilai *flow*, sehingga nilai bagi dari stabilitas dan *flow* menjadi semakin besar. Spesifikasi bina marga 2018 memberikan syarat minimum yaitu sebesar 250 kg/mm untuk nilai *Marshall Quotient*.



Gambar 7. Grafik Hubungan Kadar Aspal Dengan Nilai *Marshall Quotient*

4.4. Pengaruh PET terhadap Kadar Aspal Optimum (KAO)

Dari hasil *Marshall test* dapat dilihat kadar aspal yang memenuhi persyaratan untuk lapisan AC-BC sesuai dengan spesifikasi bina marga 2018. Kemudian batas spesifikasi tersebut diplot berdasarkan nilai kadar aspalnya ke dalam diagram batang (*Bar chart*) dan diperoleh nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) pada penambahan PET. Dari nilai KAO yang didapat, semakin banyaknya kadar PET maka nilai KAO akan menurun dikarenakan nilai VFA cenderung turun seiring pertambahan PET sehingga penggunaan aspal dapat berkurang.

Tabel 3. Kadar Aspal Optimum (KAO) dengan Penambahan PET

Kadar PET	Kadar Aspal Optimum (KAO)
1%	5,68%
2%	5,56%
3%	5,45%
4%	5,35%
5%	5,28%

V. Kesimpulan Dan Saran

5.1. Kesimpulan

1. Pengaruh penambahan *Polyethylene Terephthalate* (PET) pada campuran AC-BC terhadap parameter *Marshall* menyebabkan meningkatnya nilai stabilitas seiring bertambahnya kadar PET dibandingkan dengan tanpa menggunakan campuran PET. Parameter lainnya yaitu rongga dalam campuran (VIM), rongga dalam agregat (VMA), dan *Marshall Quotient* (MQ) juga mengalami peningkatan. Sedangkan rongga terisi aspal (VFA) dan juga *flow* mengalami penurunan.
2. Dalam penelitian ini dapat disimpulkan bahwa Kadar Aspal Optimum (KAO) pada campuran aspal yang ditambahkan dengan PET menurun yang disebabkan oleh turunnya nilai VFA. Adapun hasil kadar Aspal Optimum (KAO) pada campuran PET 1% yakni sebesar 5,68%. Untuk campuran PET 2% sebesar 5,56%. Untuk campuran PET 3% sebesar 5,45%. Untuk campuran PET 4% sebesar 5,35%. Untuk campuran PET 5% sebesar 5,28%.

5.2. Saran

1. Diperlukannya kajian atau pengujian tentang penggunaan *Polyethylene Terephthalate* (PET) sebagai bahan tambah pengikat pada aspal dengan memperhatikan *Performance Grade* (PG).
2. Sebaiknya rentang kadar penambahan PET lebih ditingkatkan agar dapat mengetahui batas maksimal penggunaan PET sebagai bahan tambah pengikat.

DAFTAR PUSTAKA

- Abojaradeh, M., 2013. Development of Fatigue Failure Criterion For Hot-Mix Asphalt based on Dissipated Energy and Stiffness Ratio. *Jordan Journal of Civil Engineering*, 7 (1), 54–69.
- Baghaee Moghaddam, T., Soltani, M., and Karim, M.R., 2014. Experimental characterization of rutting performance of Polyethylene Terephthalate modified asphalt mixtures under static and dynamic loads. *Construction and Building Materials*, 65, 487–494.

- Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018. Spesifikasi Umum 2018. *Edaran Dirjen Bina Marga Nomor 02/SE/Db/2018*, (Revisi 2), 6.1-6.104.
- Earnest, M.D., 2015. Performance Characteristics of Polyethylene Terephthalate (PET) Modified Asphalt, 95.
- Mujiarto, I., 2005. Sifat dan Karakteristik Material Plastik dan Bahan Aditif. *Traksi*, 3 (2), 65–74.
- Prameswari, P.A., Pratomo, P., and Herianto, D., 2016. Pengaruh Pemanfaatan PET pada Laston Lapis Pengikat Terhadap Parameter Marshall. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain (JRSDD)*, 4 (2), 294–305.
- Suhardi, Priyo, P., and Hadi, A., 2016. Studi Karakteristik Marshall Pada Campuran Aspal Dengan Penambahan Limbah Botol Plastik. *Jrsdd*, 4 (2), 284–293.
- Wicaksono dan Arijanto, 2017. Pengolahan Sampah Plastik Jenis PET (Polyethilene Perephthalathe) Menggunakan Metode Pirolisis Menjadi Bahan Bakar Alternatif. *Jurnal Teknik Mesin*, 5 (1), 9–15.