

Pengaruh PET Sebagai Bahan Tambah Aspal Terhadap Nilai Kekuatan Sisa Campuran *Asphalt Concrete-Binder Course* (AC-BC)

Andryan Wibisono ¹⁾

Sasana Putra ^{2),*}

Tas'an Junaedi ²⁾

Rahayu Sulistyorini ²⁾

Abstract

Road damage often occurs due to excessive volume of heavy vehicles so that vehicle loads cause strain and stress of the pavement layer. One way to improve the quality of asphalt mixtures is by adding PET plastic. Research was conducted to determine the effect of AC-BC mixtures with the addition of PET plastic waste as a binder additive in asphalt on Marshall parameters and Durability of Residual Strength Index. Based on the results of the study, the specific gravity of asphalt increased as the level of PET mixed increased. The penetration value decreases as the PET content increases because the asphalt becomes harder. Ductility decreases as more PET content makes the asphalt more brittle. The softening point value increases as the PET content increases because the wax content in the asphalt increases. In the durability test, the largest IKS value occurred in the mixture of asphalt penetration 60/70 + 4% PET at 94.58%; asphalt penetration 60/70 + 2% PET made an IKS value of 94.00%; asphalt penetration 60/70 + 3% PET made an IKS value of 94.36%; and asphalt penetration 60/70 + 0% PET had the smallest IKS value of 91.58%. All IKS values have met the minimum Bina Marga standard of 90%. Therefore, the greater the percentage of PET mixed, the greater the IKS value.

Keywords : Asphalt Concrete-Binder Course, Polyethylene Terephthalate, Marshall Parameter, Residual Strength Index

Abstrak

Kerusakan jalan sering terjadi karena berlebihan volume kendaraan berat sehingga beban kendaraan mengakibatkan regangan dan tegangan lapisan perkerasan. Salah satu cara untuk menaikkan mutu campuran beraspal dengan menambahkan plastik PET. Penelitian dilakukan untuk mengetahui pengaruh campuran AC-BC dengan penambahan limbah plastik PET sebagai additive pengikat pada aspal terhadap parameter Marshall dan Durabilitas Indeks Kekuatan Sisa. Berdasarkan hasil penelitian, berat jenis aspal meningkat seiring bertambahnya kadar PET yang dicampurkan. Nilai penetrasi semakin menurun seiring bertambahnya kadar PET karena aspal menjadi lebih keras. Daktilitas menurun karena semakin banyak kadar PET membuat aspal semakin getas. Nilai titik lembek meningkat seiring bertambahnya kadar PET karena kandungan lilin pada aspal meningkat. Pada pengujian Durabilitas, nilai IKS terbesar terjadi pada campuran Aspal Penetrasi 60/70+PET 4% sebesar 94,58%; Aspal Penetrasi 60/70+PET 2% menghasilkan nilai IKS 94,00%; Aspal Penetrasi 60/70+PET 3% menghasilkan nilai IKS 94,36%; dan Aspal Penetrasi 60/70+PET 0% memiliki nilai IKS terkecil sebesar 91,58%. Seluruh nilai IKS telah memenuhi standar Bina Marga minimal sebesar 90%. Oleh karena itu, semakin besar persentase campuran PET yang dicampurkan maka semakin besar nilai IKS.

Kata kunci : *Asphalt Concrete-Binder Course, Polyethylene Terephthalate, Parameter Marshall, Indeks Kekuatan Sisa*

¹⁾ Mahasiswa Prodi S1 Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

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

* Corresponding Author : sasana.putra@eng.unila.ac.id

I. PENDAHULUAN

Kerusakan jalan merupakan salah satu permasalahan di Indonesia yang sering terjadi di jalan-jalan dengan volume lalu lintas yang padat, dengan kerusakan berupa retak leleh dan deformasi. Kerusakan jalan disebabkan karena berlebihnya volume kendaraan berat yang melewati sehingga beban kendaraan mengakibatkan terjadinya regangan dan tegangan di setiap lapisan perkerasan. Salah satu cara untuk menaikkan mutu campuran beraspal adalah dengan menambahkan plastik. Menurut Sumadilaga (2017), teknologi campuran beraspal dengan memanfaatkan limbah plastik memiliki sifat tahan terhadap deformasi, lebih baik dalam ketahanan leleh (*fatigue*), kendaraan tidak mudah slip saat aspal dalam keadaan basah ataupun kering, deformasi atau alur meningkat, serta tidak mudah retak.

Jenis sampah plastik dengan tingkat daur ulang paling tinggi adalah plastik *polyethylene terephthalate* (PET), yaitu sekitar 23%. Salah satu pemanfaatan limbah ini adalah dengan memanfaatkannya dalam bidang konstruksi, khususnya konstruksi jalan raya dengan menjadikannya sebagai campuran pada aspal. Menurut Hendrastianto (2019), sampah plastik dapat menjadi berguna kembali setelah didaur ulang. Adapun biji plastik *polypropylene* adalah biji plastik yang terbuat dari monomer propilena yang memiliki sifat kaku, tidak berbau, dan tahan terhadap bahan kimia pelarut, asam, dan basa. Proses daur ulang limbah plastik adalah dengan menjadikannya biji plastik (*pellet*).

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh durabilitas ketahanan dan kekuatan dari campuran *Asphalt Concrete - Binder Course* (AC-BC) dengan penambahan limbah plastik PET sebagai *additive* bahan pengikat pada aspal terhadap parameter marshall. Penelitian ini diharapkan dapat mengoptimalkan limbah plastik PET sebagai bahan *additive* untuk campuran aspal, dapat mengetahui perbandingan durabilitas campuran *Asphalt Concrete - Binder Course* (AC-BC) dengan limbah plastik *Polietilenantereftalat* (PET) sebagai penambah bahan pengikat pada aspal, serta menambah pengetahuan baru dan juga untuk inovasi baru dalam bidang infrastruktur jalan raya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Campuran AC-BC

Lapisan aspal (AC-BC) adalah jenis perkerasan yang terdiri dari campuran agregat dan aspal, berfungsi sebagai lapisan penutup dari konstruksi jalan. Menurut SNI 2432-2011, aspal bersifat viskoelastik baik berupa aspal alam atau modifikasi (diberi bahan tambah seperti polimer). Di Indonesia, aspal yang sering digunakan adalah aspal penetrasi 60/70. Adapun ketentuan untuk Aspal Keras Penetrasi 60/70 mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6, yang berisi ketentuan dari SNI, ASTM, dan AASTHO.

Sementara agregat kasar adalah agregat dengan ukuran butiran lebih besar dari saringan No. 4 (4,75 mm) dan harus bersih, keras, awet dan bebas dari lempung atau bahan lainnya. Sedangkan agregat halus adalah agregat dengan ukuran butiran lebih halus dari saringan No.4 (4,75 mm) yang berfungsi mendukung stabilitas dan mengurangi deformasi dari campuran melalui ikatan dan gesekan antar partikel. Campuran lainnya adalah *filler* (bahan pengisi) yang harus kering dan bebas dari gumpalan-gumpalan dan harus mengandung bahan lolos ayakan No.200 (0,074 mm) tidak kurang dari 75% beratnya.

2.2. Plastik PET

Plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) merupakan plastik lunak, jernih dan transparan sehingga baik digunakan sebagai kemasan makanan dan minuman. Berdasarkan karakteristik plastik PET, pengolahan yang paling tepat adalah dengan teknik pemanasan, karena dapat dibentuk dengan mudah dan diproses menjadi bentuk lain (Okatama, 2016). Plastik PET memiliki kekuatan mekanik yang tinggi, transparan, tidak beracun, dan tidak pengaruh pada rasa dan permeabilitas dapat diabaikan untuk karbon dioksida. Plastik PET memiliki kekuatan tarik dan kekuatan impak sangat baik, begitu juga dengan ketahanan kimia, *clarity*, *processability*, kemampuan warna dan stabilitas termalnya (Irvan, 2016).

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Persiapan Material dan Peralatan Penelitian

Persiapan bahan meliputi Agregat Kasar yaitu material yang tertahan ayakan No.8 (2,36 mm), Agregat Halus yaitu pasir lolos ayakan No.8 (2,36 mm), *Filler* atau material lolos saringan No.200 yang dalam penelitian ini adalah abu batu, Aspal yang pada penelitian ini adalah aspal keras penetrasi 60/70, serta bahan tambah plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) yang dicacah dengan ukuran ± 1 cm dan dibagi ke dalam beberapa variasi campuran dengan kadar 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5% dari total berat aspal.

Sementara untuk alat uji, antara lain alat tekan *Marshall* terdiri dari kapal penekan, cincin penguji berkapasitas 22,2 KN dilengkapi arloji pengukur *flow meter*, alat cetak benda uji silinder diameter 4 inchi (10,16 cm) dan tinggi 3 inchi (7,5 cm), cincin penguji (*proving ring*) kapasitas 2500 kg atau 5000 kg dilengkapi arloji tekan ketelitian 0,0025 mm, *Marshall Automatic Compactor* digunakan untuk pemadatan sebanyak 50 kali tumbukan tiap sisi, *Ejector* untuk mengeluarkan benda uji setelah pemadatan, Bak Perendam dengan suhu pengatur, serta alat penunjang seperti kompor pemanas, thermometer, sendok pengaduk, sarung tangan anti panas, timbangan, dan jangka sorong.

3.2. Pengujian Material

Pengujian agregat diperlukan sebagai bahan pengisi pada campuran beraspal dengan komposisi gradasi sesuai dengan gradasi terpakai yang memenuhi spesifikasi yang ada. Adapun pengujian yang dilakukan, antara lain Analisa Saringan, Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus dan Agregat Kasar, *Los Angeles Test*, *Aggregate Impact Value*, dan *Aggregate Crushing Value*. Standar pengujian ini harus memenuhi SNI. Sedangkan untuk pengujian aspal dilakukan dengan uji penetrasi, titik lembek, daktilitas, berat jenis, dan kehilangan berat. Standar pengujian ini harus memenuhi standar uji dari SNI berdasarkan Dirjen Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum 2018 Divisi 6.

3.3. Perancangan Campuran Benda Uji

3.3.1. Perancangan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Perancangan Kadar Aspal Optimum (KAO) dapat dilakukan setelah melakukan pemilihan dan penggabungan pada tiga fraksi agregat.

$$Pb = 0,035 (\% CA) + 0,045 (\% FA) + 0,18 (\% Filler) + K = 5,61\% \quad (1)$$

Nilai Pb dibulatkan menjadi 5,5%. Digunakan 5 variasi kadar aspal dengan cara menentukannya adalah Pb-1%, Pb-0,5%, Pb, Pb+0,5%, Pb + 1% sehingga variasi yang didapat antara lain 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, 6,5%. Dan dilakukan juga penambahan plastik PET dengan kadar 0%, 1%, 2%, 3%, 4% dan 5%.

3.3.2. Jumlah Benda Uji

Jumlah benda uji dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 1. Jumlah Benda Uji untuk Mencari KAO

Variasi Kadar Aspal (%)	Variasi Campuran PET (%)						Jumlah
	0%	1%	2%	3%	4%	5%	
4,5 %	3	3	3	3	3	3	18
5 %	3	3	3	3	3	3	18
5,5 %	3	3	3	3	3	3	18
6 %	3	3	3	3	3	3	18
6,5 %	3	3	3	3	3	3	18
Total							90

Tabel 2. Variasi Perendaman

Variasi Perendaman	Jumlah Benda Uji
30 menit	3
1 hari	3
7 hari	3
28 hari	3

Untuk mencari KAO, terdapat 5 variasi campuran aspal dan 6 variasi kadar bahan tambah PET. Setiap variasi dibuat sebanyak 3 sampel ($5 \times 6 \times 3 = 90$) sehingga jumlah benda uji dibutuhkan untuk mencari KAO adalah 90 buah. Setelah mendapatkan KAO dilakukan perendaman dimana terdapat empat variasi rendaman dan dibutuhkan masing-masing 3 sampel ($3 \times 4 \times 6 = 72$) sehingga jumlah benda uji dibutuhkan sebanyak 72 buah. Total jumlah benda uji pada penelitian ini sebanyak $90 \text{ buah} + 72 \text{ buah} = 162 \text{ buah}$.

3.4. Pembuatan Benda Uji Marshall

Pertama, timbang agregat berdasarkan persentase agregat campuran yang sudah dihitung, lalu benda uji dibuat sebanyak tiga buah pada masing-masing setiap variasi Kadar Aspal. Masukkan agregat ke dalam oven selama ± 4 jam hingga didapatkan berat kering dan hitung kembali kadar aspal sesuai berat agregat yang sudah dimasukkan ke dalam oven. Campurkan agregat sesuai perencanaan dengan berat total masing-masing benda uji.

Sebelum dilakukan pemadatan, cetakan dipanaskan terlebih dahulu untuk mencegah adanya penurunan suhu pada sampel. Cetakan yang digunakan berbentuk silinder dengan tinggi 6,35 cm dan diameter 10,16 cm. Kemudian masukkan campuran ke dalam cetakan per 1/3 dan 1/2 tinggi cetakan kemudian memadatkan dengan alat *compactor* sebanyak 2x75 tumbukan dengan suhu 150°C. Setelah itu benda uji didiamkan selama kurang lebih 24 jam agar suhu pada benda uji menurun, kemudian benda uji dikeluarkan menggunakan *ejector* dan diberi kode sampel sesuai dengan jenis sampel.

Selanjutnya, benda uji dibersihkan dari kotoran yang menempel dan diukur tinggi benda uji menggunakan jangka sorong dengan ketelitian 0,1 mm di ketiga sisi benda uji dan ditimbang beratnya untuk mendapatkan berat benda uji kering. Rendam benda uji dalam bak air selama 30 menit untuk mengetahui kadar penyerapan air. Setelah itu, timbang benda uji dalam air untuk mengetahui berat jenuh pada masing-masing sampel. Kemudian benda uji dikeringkan menggunakan kain lap sehingga didapatkan benda uji kering permukaan dan menimbang benda uji menggunakan ketelitian 0,1 gram, lalu didapatkan berat benda uji kering permukaan jenuh atau SSD (*Saturated Surface Dry*).

3.5. Pengujian Menggunakan Alat Marshall

Benda uji setelah diketahui berat dan tinggi pada masing-masing sampel, lalu direndam dalam bak perendaman (*water bath*) pada suhu 60°C selama 30 menit. Bersihkan bagian dalam kepala penekan alat uji *Marshall* dan dilumasi agar benda uji mudah dilepaskan setelah pengujian. Kemudian keluarkan benda uji dari bak perendam dan letakkan benda uji dalam cincin dan memasang *flow meter*.

Selanjutnya letakkan kembali pada mesin penekan *Marshall*. Kemudian penekan dinaikkan hingga menyentuh alas cincin penguji, dan mengatur jarum arloji *flow meter* pada angka nol. Pembebanan dilakukan dengan kecepatan konstan 2 inch (51 mm) per menit, dibaca pada saat nilai stabilitas berhenti dan jarum mulai kembali berputar menurun, itu merupakan nilai stabilitas Marshall. Pada saat itu pula arloji kelelahan dibaca. Setelah pengujian selesai, kepala penekan diambil bagian atas dibuka dan benda uji dikeluarkan. Kemudian dilakukan uji durabilitas dengan melakukan perendaman benda uji di *waterbath* sesuai dengan variasi lama perendaman. Lalu lakukan pengujian *Marshall*, sesuai dengan SNI 06-2489-1991. Lakukan juga pengujian berat jenis maksimum (Gmm) pada setiap variasi lama perendaman, sesuai dengan SNI 03-6893-2002. Terakhir, hitung Indeks Kekuatan Sisa (IKS) campuran beraspal.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Karakteristik Aspal

Hasil dari pengujian berat jenis aspal yang ditambahkan plastik PET kadar 0%, 1%, 2%, 3%, 4% dan 5%, adalah sebesar 1,0213; 1,0305; 1,0342; 1,0393; memenuhi syarat spesifikasi Bina Marga 2018 sebesar $\geq 1,00$. Kemudian hasil pengujian penetrasi aspal dengan campuran PET 0%, 1%, 2%, 3%, 4% dan 5%, sebesar 63, 62, 56, 50, 48 dan 46. Nilai penetrasi mengalami penurunan setiap bertambahnya kadar plastik PET, karena sifat aspal menjadi lebih keras sehingga nilai penetrasinya menurun.

Nilai pengujian daktilitas menggunakan PET 0%, 1%, 2%, 3%, 4% dan 5% adalah 125, 125, 125, 112, 107, dan 96. Penambahan PET menyebabkan penurunan nilai daktilitas sehingga semakin banyak plastik yang ditambahkan maka sifat aspal menjadi semakin getas. Lalu nilai titik lembek mengalami peningkatan seiring bertambahnya kadar plastik yang ditambahkan. Hasil dari pengujian titik lembek adalah 48, 50, 53, 54, 54 dan 55.

Tabel 3. Hasil Pengujian Aspal

No	Kadar PET	Pengujian			
		Berat Jenis (gr/cm^3)	Penetrasi (mm)	Daktilitas (cm)	Titik Lembek (°C)
1	0%	1,0213	63	125	48
2	1%	1,0213	62	125	50
3	2%	1,0305	56	125	53
4	3%	1,0342	50	112	54
5	4%	1,0393	48	107	54
6	5%	1,0410	46	96	55

4.2. Pengujian Agregat

Pengujian material mengacu *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) dan Standar Nasional Indonesia (SNI) dalam spesifikasi umum Bina Marga 2010 revisi 3 untuk campuran aspal beton lapis antara (AC-BC).

Tabel 4. 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>		>2,5	2,6395
2.	Berat jenis SSD		>2,5	2,7027
3.	Berat jenis semu		>2,5	2,8177
4.	Penyerapan		<3	2,3961
C. Los Angeles Test (SNI 03-2417 : 2008)		%	Maks. 40	15,71
D. Aggregate Impact Value (BS 812 : part 3 :1975)		%	Maks. 30	0,77
E. Aggregate Crushing Value (BS 812 : part3 :1975)		%	Maks. 30	7,38

Hasil dari pengujian berat jenis agregat kasar asal Tanjungan sebesar 2,6565 sehingga memenuhi persyaratan >2,5 dan hasil pengujian agregat halus sebesar 2,6395 sehingga memenuhi persyaratan >2,5. Sementara hasil pengujian penyerapan air agregat kasar asal Tanjungan sebesar 0,686% sehingga memenuhi persyaratan <3% dan hasil pengujian agregat halus sebesar 2,396 % sehingga memenuhi persyaratan <3%. Kemudian untuk hasil pengujian keausan dengan mesin *Los Angeles* pada campuran agregat Tanjungan sebesar 15,71% sehingga memenuhi persyaratan <40%. Hasil pengujian kekuatan agregat terhadap tekanan untuk agregat asal Tanjungan sebesar 0,77% sehingga memenuhi persyaratan <30%. Sedangkan hasil pengujian kekuatan agregat terhadap tumbukan untuk agregat asal Tanjungan sebesar 7,38% memenuhi persyaratan <30%.

4.3. Hasil Pengujian Marshall Campuran PET AC-BC untuk Menentukan Nilai Kadar Aspal Optimum (KAO)

Berikut hasil perhitungan nilai Stabilitas, Flow, VIM, VMA, VFA, dan MQ.

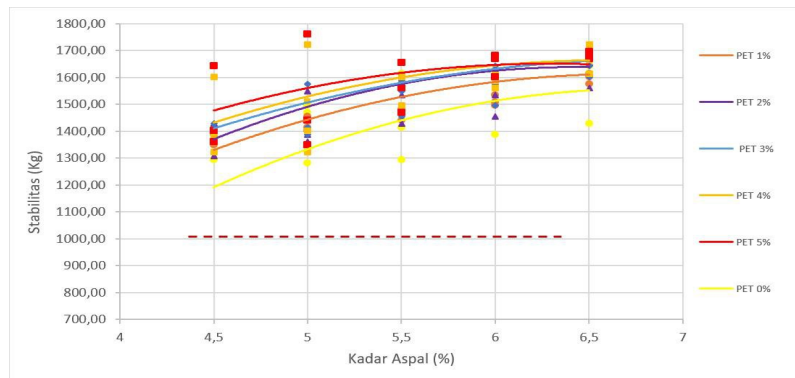
Tabel 5. Tabel Rekapitulasi Nilai Parameter Marshall dengan campuran PET

Kadar Aspal (%)	Kadar PET (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	VIM (%)	VMA (%)	VFA (%)	MQ (%)
Spesifikasi		>1000	2,0 – 4,0	3,0 – 5,0	14	65	>250
4,5	0%	1352.39	2.3	5.15	13.96	63.11	589.46
5		1414.67	2.7	4.56	14.46	68.57	518.68
5,5		1441.36	3.1	4.14	14.54	71.84	493.21
6		1508.09	3.2	3.30	14.64	77.65	477.40
6,5		1561.46	3.5	3.03	14.78	79.65	446.23
4,5	1%	1365.73	2.0	5.26	14.64	64.05	682.86
5		1423.57	2.6	5.09	15.14	66.35	547.52
5,5		1463.60	2.8	4.78	15.23	68.58	522.71
6		1512.54	3.0	4.12	15.69	73.66	504.17
6,5		1597.06	3.4	3.30	14.64	77.21	474.37
4,5	2%	1387.97	1.9	5.38	14.87	63.62	717.91
5		1432.46	2.6	5.18	15.56	66.73	543.97
5,5		1508.12	2.7	4.91	15.89	68.27	558.56
6		1534.78	3.0	4.35	16.27	72.68	511.59
6,5		1610.41	3.2	3.37	14.72	76.94	508.54

4,5	3%	1414.67	1.7	5.46	14.91	63.40	816.15
5		1459.15	2.5	5.39	16.20	66.38	575.98
5,5		1530.33	2.6	5.23	15.92	66.71	596.23
6		1570.37	2.9	4.40	16.00	72.12	547.80
6,5		1641.55	3.1	3.48	14.75	76.89	529.53
4,5	4%	1436.91	1.7	5.55	14.95	62.95	828.98
5		1481.40	2.3	5.46	16.21	65.61	644.08
5,5		1552.58	2.5	5.32	16.30	66.76	629.42
6		1588.16	2.7	4.46	15.82	71.74	581.03
6,5		1668.24	3.1	3.56	14.89	76.66	543.99
4,5	5%	1468.05	1.6	5.60	15.17	63.11	937.05
5		1516.99	2.2	5.51	16.25	65.47	689.53
5,5		1561.47	2.4	5.36	16.29	66.55	650.61
6		1650.45	2.6	4.53	15.86	71.42	626.75
6,5		1681.59	3.0	3.63	14.94	75.40	566.82

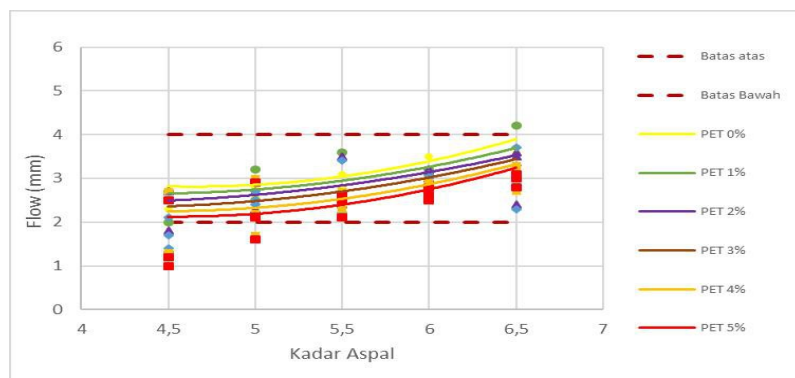
4.3.1. Pengaruh Penambahan PET Terhadap Stabilitas Campuran

Nilai stabilitas mengalami peningkatan seiring bertambahnya kadar PET. Peningkatan pada nilai stabilitas karena ditamhakkannya 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.



Gambar 1. Grafik Stabilitas Terhadap Penambahan PET 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5%

4.3.2. Pengaruh Penambahan PET Terhadap Kelelahan (*Flow*)

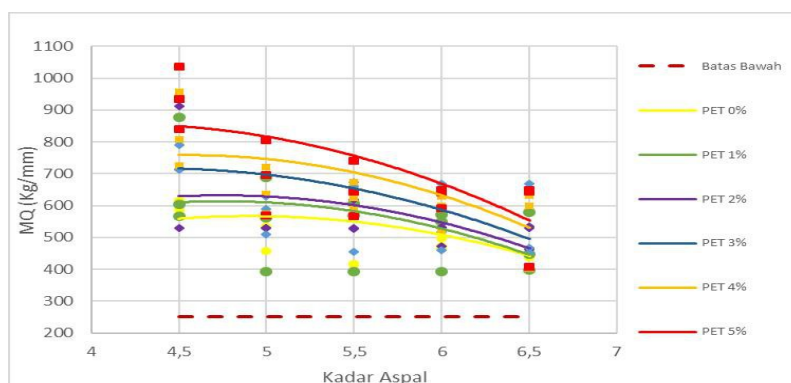


Gambar 2. Grafik Flow Terhadap Penambahan PET 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5%

Dari hasil pengujian dapat dilihat bahwa nilai *flow* pada semua kadar aspal telah memenuhi spesifikasi Bina Marga sebesar 2,0 – 4,0 mm untuk nilai *flow*. Nilai *flow* menurun seiring bertambahnya kadar PET. Hal tersebut karena penambahan PET mengakibatkan nilai penetrasi aspal semakin turun yang diartikan aspal tersebut menjadi semakin keras. Adapun nilai titik lembek yang meningkat seiring dengan pertambahan kadar PET yang menyebabkan aspal menjadi kurang peka terhadap perubahan suhu.

4.3.3. Pengaruh Penambahan PET Terhadap Marshall Quotient (MQ)

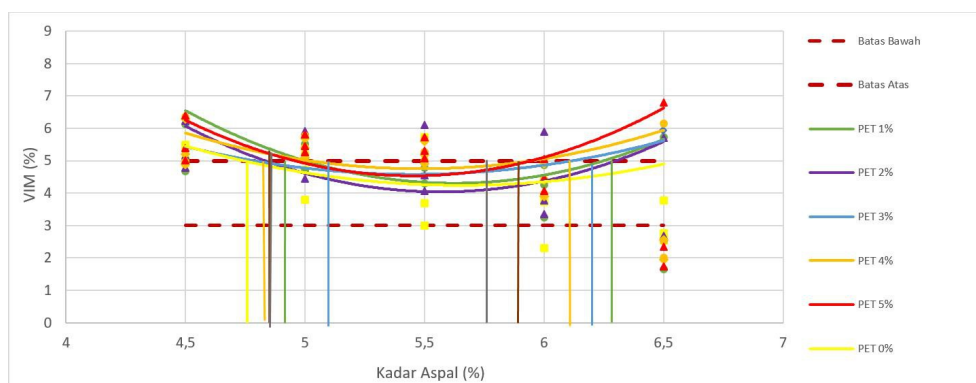
Dari hasil pengujian, penambahan PET dengan kadar 0%, 1%, 2%, 3%, 4% dan 5%, nilai *MQ* pada semua kadar aspal telah memenuhi spesifikasi Bina Marga dengan syarat minimum 250 kg/mm untuk nilai *MQ*. Nilai *MQ* meningkat seiring bertambahnya kadar PET yang disebabkan penambahan nilai stabilitas dan juga penurunan nilai *flow*.



Gambar 3. Grafik MQ terhadap penambahan PET 0%, 1%, 2%, 3%, 4% dan 5%

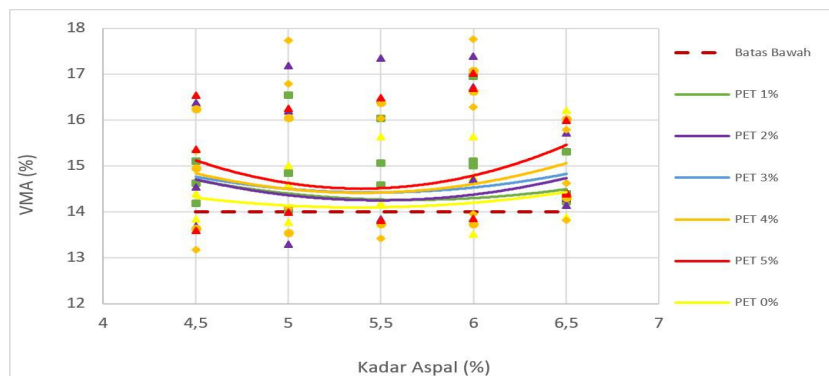
4.3.4. Pengaruh Penambahan PET Terhadap VIM, VMA, VFA

Disajikan grafik campuran aspal penetrasi 60/70 yang dimodifikasi dengan menambahkan PET sebesar 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5%, terhadap nilai VIM, VMA, dan VFA.



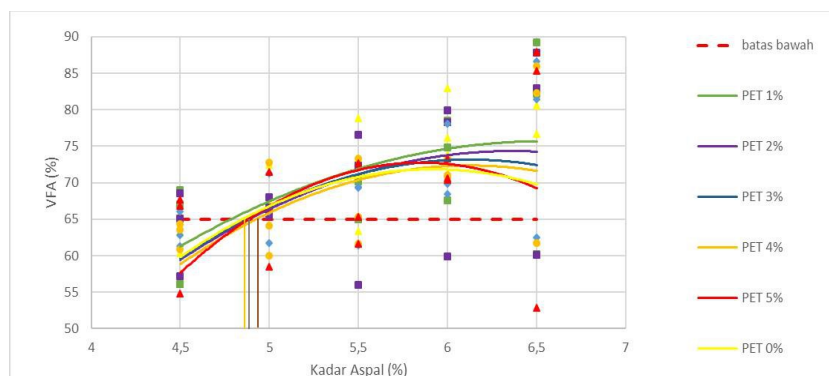
Gambar 4. Grafik VIM terhadap penambahan PET 0%, 1%, 2%, 3%, 4% dan 5%.

Spesifikasi Bina Marga 2018 memberikan syarat sebesar 3 – 5 % untuk nilai VIM. Nilai VIM meningkat seiring bertambahnya kadar PET karena aspal yang ditambahkan PET menjadi lebih kaku sehingga rongga pada campuran tidak terisi sempurna. Nilai VIM yang baik digunakan adalah nilai dalam rentang spesifikasi agar dapat digunakan dan dapat dilalui beban lalu lintas sesuai umur rencana. Nilai VIM terlalu besar dapat meningkatkan proses oksidasi aspal yang mempercepat penuaan aspal. Sedangkan nilai VIM terlalu kecil akan mengakibatkan *bleeding* jika mengalami kenaikan suhu.



Gambar 5. Grafik VMA terhadap penambahan PET 0%, 1% 2%, 3%, 4% dan 5%

Spesifikasi Bina Marga 2018 memberikan syarat minimum yaitu sebesar 14% untuk nilai VMA. Berdasarkan hasil nilai VMA mengalami peningkatan seiring bertambahnya kadar PET. Hal ini karena adanya pengaruh serat halus plastik terhadap aspal yang membuat sifat aspal menjadi plastis sehingga nilai VMA juga akan menjadi lebih tinggi. Semakin tinggi nilai VMA akan menjadikan campuran lebih tahan terhadap air.



Gambar 6. Grafik VFA terhadap penambahan PET 0%, 1%, 2%, 3%, 4% dan 5%

Spesifikasi Bina Marga 2018 memberikan syarat minimum 65% untuk nilai VFA. Dari pengujian, nilai VFA pada campuran mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar PET. Hal ini diakibatkan dengan penambahan PET, aspal semakin getas sehingga kurang mengisi rongga. Nilai VFA berhubungan dengan nilai stabilitas dan nilai durabilitas.

4.4. Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Metode yang digunakan menggunakan metode *Arrow Range/* grafik (pita). KAO didapat dengan mengambil nilai Tengah dari keseluruhan nilai karakteristik *Marshall* yang memenuhi spesifikasi.

Tabel 6. Kadar Aspal Optimum

No	Kadar PET	Kadar Aspal Optimum
1	0%	5,75 %
2	1%	5,68%
3	2%	5,56 %
4	3%	5,45 %
5	4%	5,35 %
6	5%	5,28%

Pada tabel dapat dilihat KAO semakin menurun seiring bertambahnya kadar plastik pada campuran aspal pen 60/70. Penurunan ini dapat menghemat pembuatan lapis perkerasan karena aspal yang dibutuhkan semakin sedikit. Selain itu ketahanan campuran terhadap suhu tinggi semakin meningkat karena titik lembek yang semakin tinggi dan mengakibatkan campuran tidak mudah mengalami *bleeding*. Tetapi campuran PET pada penelitian ini menunjukkan nilai daktilitas yang menurun sehingga semakin banyak kadar plastik yang ditambahkan maka sifat aspal menjadi semakin getas.

Titik lembek juga mengindikasikan tingkat kepekaan aspal terhadap perubahan suhu, di samping itu titik lembek juga dipengaruhi oleh kandungan parafin dalam aspal. Semakin tinggi kandungan parafin, maka semakin rendah titik lembeknya. Nilai titik lembek mengalami peningkatan seiring bertambahnya kadar plastik yang ditambahkan. Penurunan nilai KAO juga dipengaruhi oleh nilai VIM yang semakin naik, untuk nilai VMA semakin naik, VFA nilainya semakin menurun, untuk nilai Stabilitas nilainya semakin naik, untuk nilai *Flow* nilainya semakin menurun, dan untuk nilai MQ semakin naik. Maka semakin besar campuran PET maka nilai KAO semakin menurun.

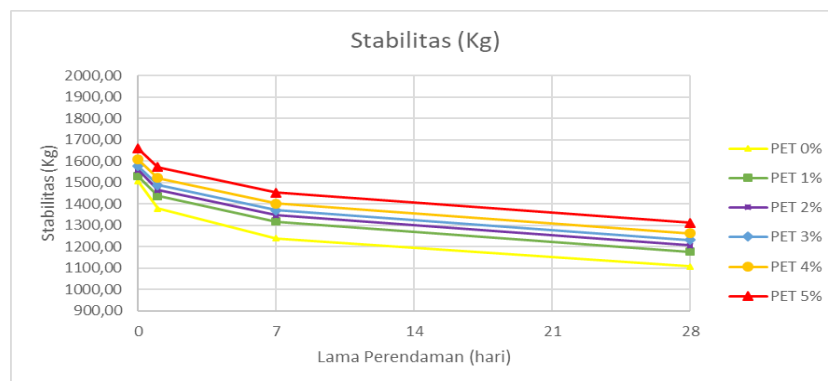
4.5. Hasil Pengujian Durabilitas

Hasil perhitungan nilai Indeks Kekuatan Sisa (IKS) pada campuran AC-BC terhadap penambahan PET dapat dilihat pada tabel berikut.

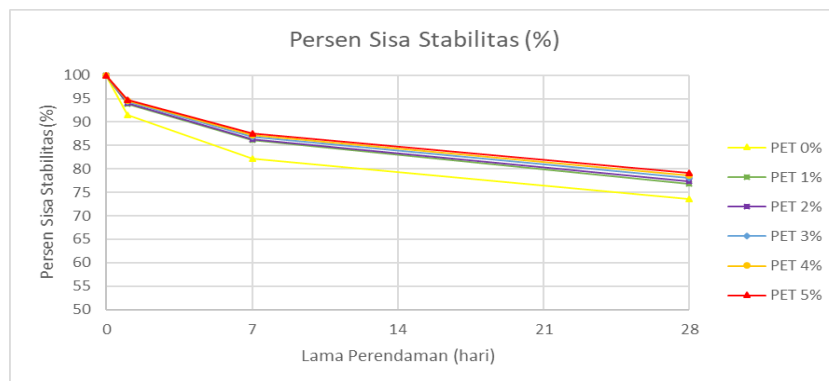
Tabel 7. Hasil Pengujian Indeks Kekuatan Sisa (IKS)

Kadar PET	Indeks Kekuatan Sisa (IKS)
0%	91,58
1%	93,87
2%	94,00
3%	94,36
4%	94,58
5%	94,74
Spesifikasi Minimal	90

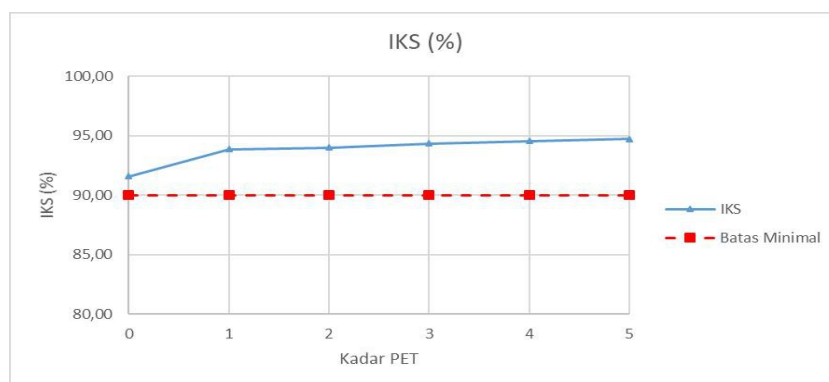
Terlihat nilai IKS terbaik terdapat pada campuran aspal penetrasi 60/70 + 5% PET sebesar 94,74 dan terkecil pada aspal penetrasi 60/70 + 0% PET sebesar 91,58%. Semakin tinggi kadar PET maka campuran mengalami kenaikan stabilitas. Dapat dilihat juga perhitungan memenuhi spesifikasi Bina Marga sebesar 90%. Hal ini menandakan persentase campuran aspal PET tahan terhadap kerusakan diakibatkan oleh suhu dan air.



Gambar 7. Grafik Gabungan Kurva Hubungan Penambahan PET dengan Nilai Stabilitas



Gambar 8. Grafik Gabungan Hubungan Penambahan PET dengan Persen Sisa Stabilitas



Gambar 9. Grafik Hubungan Penambahan PET dengan Indeks Kekuatan Sisa (IKS)

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Penambahan PET mempengaruhi karakteristik aspal, antara lain nilai berat jenis, penetrasi, daktilitas, dan titik lembek. Berat jenis aspal mengalami kenaikan seiring semakin banyak kadar PET yang dicampurkan. Nilai penetrasi semakin mengecil seiring bertambahnya kadar PET karena aspal menjadi lebih keras. Daktilitas mengalami penurunan karena semakin banyak kadar PET dicampurkan akan membuat aspal menjadi semakin getas. Nilai titik lembek mengalami kenaikan seiring bertambahnya kadar PET karena penambahan PET akan menambahkan kandungan lilin (*parafin*) pada aspal.

2. Pada pengujian Durabilitas terhadap lama perendaman, nilai IKS terbesar terjadi pada campuran aspal penetrasi 60/70 + PET 4% sebesar 94,58% ; aspal penetrasi 60/70 + PET 2% menghasilkan nilai IKS 94,00% ; aspal penetrasi 60/70 + PET 3% menghasilkan nilai IKS 94,36% ; dan aspal penetrasi 60/70 + PET 0% memiliki nilai IKS terkecil sebesar 91,58%. Seluruh nilai IKS telah memenuhi standar bina marga minimal sebesar 90%. Oleh karena itu, semakin besar persentase campuran PET yang dicampurkan maka semakin besar nilai IKS.

DAFTAR PUSTAKA

- Bina Marga. 2016. *Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2016 Revisi 3*. Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum. Jakarta.
- Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum. 2018. *Spesifikasi Umum Edisi 2018*. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum.
- Analisis Dampak Rendaman Air Tawar Terhadap Durabilitas Dan *Properties Marshall* Pada Campuran *Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC)*, Damar Gumilang Hendarsin, Shirley L. 2000, Perencanaan Teknik Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil– Politeknik Negeri Bandung, Bandung.
- Kajian Kemampuan Campuran Aspal-Beton (AC-BC) Dengan Asbuton Cair Yang Diisi Dengan Serpihan HDPE (*High Density Polyethylene*) Okma Yendri¹, Wahyu S².
- Pengaruh Limbah Kantong Plastik Sebagai Additive Pada Campuran AC-BC Terhadap Properti *Marshall* Durabilitas Dan Workabilitas Bagas Septyan Fauzy¹, Agus Riyanto², Sri Sunarjono³, Senja Rum Harnaeni⁴.
- Penumpukan Sampah Plastik Yang Sulit Terurai Berpengaruh Pada Lingkungan Hidup Yang Akan Datang Syifa Evania Farin.
- Ramadhan, Putra R, “Pengaruh Penambahan Limbah Plastik (PET) Terhadap Karakteristik Marshall dan Permeabilitas Pada Aspal Berpori”, *Rekayasa Teknik Sipil*, Vol. 01, No.1, Hal.129-135, 2017.
- Shell Bitumen, 1990, *Shell Bitumen Handbook*, Shell Bitumen, England Krebs, R.D. dan Walker, R.D. 1971. *Highway Materials*, McGraw – Hill Book Company, New York.
- Suraya Fitri¹, Sofyan M. Saleh², Muhammad Isya³, “Pengaruh Penambahan Limbah Plastik Kresek Sebagai Substitusi Aspal PEN 60/70 Terhadap Karakteristik Campuran Laston AC – BC “
- Studi Karakteristik *Marshall* Pada Campuran Aspal Dengan Penambahan Limbah Botol Plastik Suhardi¹, Priyo Pratomo², dan Hadi Ali³.
- Tenrisukki, Andi Tenriajeng. *Seri Diktat Kuliah Rekayasa Jalan Raya Gunadarma*. hal.207
- Zulkarnain. N, Teddy. S, Yessi. S, “Studi Perilaku Campuran Aspal Berpori Terhadap Proporsi Agregat Kasar”, *Media Teknik*, No.4, Tahun XXIII, Hal. 26-32, Nov 2001.