

PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH BOTOL PLASTIK TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL PADA BETON ASPAL LAPIS PENGIKAT

Tasia Rizky Puspitasari¹⁾, Gunawan Wibisono²⁾, Alfian Malik²⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

²⁾Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya Jl. HR Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru, Kode 28293

Email : tasia.rizky@student.unri.ac.id

ABSTRACT

Plastics have been used for many consumer goods. Polyethylene Terephthalate (PET) is commonly used as non-reusable water bottles. Although the plastic can be recycled and has economic values, the unhandled waste still threatens the environment. PET based waste products have been used as pavement materials in limited applications. This research attempts to investigate the effect of PET waste addition on binder course asphalt concrete (AC-BC) mixtures. The proportion of PET waste added into bitumen was 0, 2, 4, and 6% of bitumen content. Bina Marga 2010 Specification was used to obtain optimum asphalt content and to measure all Marshall characteristic of all samples tested. The results show that the addition of PET waste increased the stability and flow values of mixtures. The optimum PET waste content that still meets the specification was 4% of bitumen content.

Keywords : plastic waste, marshall characteristic, AC-BC.

A. PENDAHULUAN

Jenis material plastik yang biasa dipakai untuk botol minuman adalah *Polyethylene Terephthalate* (PET). Material ini direkomendasikan hanya untuk sekali pemakaian dan tidak digunakan untuk air panas karena akan mengakibatkan lapisan polimer pada botol tersebut meleleh dan mengeluarkan zat karsinogenik dalam jangka panjang (Yulianto, 2013). Oleh karena sekali pemakaian, tidak mengherankan jika limbah botol plastik ini sangat banyak dan terus meningkat tiap tahunnya seiring bertambahnya jumlah penduduk.

Semakin banyaknya limbah botol plastik jenis PET membuka peluang untuk dimanfaatkan di bidang konstruksi jalan raya agar dapat mengurangi jumlah dari limbah botol plastik tersebut. Selain dimanfaatkan untuk konstruksi jalan raya, botol plastik bekas juga masih memiliki nilai ekonomis setelah dilakukan daur ulang. Biasanya botol plastik bekas yang

di daur ulang dijadikan botol plastik kembali. Sedangkan kelemahan dari daur ulang adalah bahwa plastik yang sudah didaur ulang untuk dijadikan barang plastik lagi akan semakin menurun kualitasnya (Surono & Ismanto, 2016).

Semakin tinggi tuntutan kualitas terhadap pembuatan jalan baru maupun pemeliharaan suatu jalan, mempengaruhi ketersediaan bahan-bahan pembuat jalan yang memenuhi persyaratan spesifikasi. Hal ini menimbulkan suatu pemikiran untuk mengembangkan suatu inovasi yang dapat mengatasi masalah tersebut. Salah satu cara tersebut dengan mencari atau menemukan suatu bahan tambah yang dapat memperbaiki kinerja campuran beraspal. Kondisi ini memberikan adanya peluang untuk menggunakan bahan tambah limbah botol plastik pada campuran perkerasan lentur sehingga dapat memperbaiki kinerja perkerasan tersebut (Soandrijanie et al., 2014).

Pemanfaatan limbah botol plastik ini

dapat dilakukan dengan menggunakannya sebagai bahan tambah pada campuran aspal beton lapis pengikat (AC-BC). Hal ini diharapkan akan meningkatkan kualitas aspal beton dan memenuhi persyaratan teknis untuk digunakan sebagai bahan perkerasan jalan. Pada penelitian ini yang akan ditinjau yaitu pengaruh penambahan limbah botol plastik jenis PET sebagai bahan tambah pada campuran aspal beton terhadap karakteristik Marshall.

B. TINJAUAN PUSTAKA

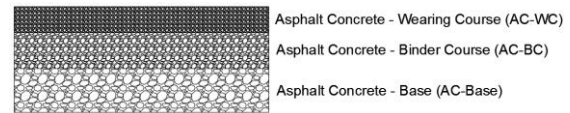
B.1 Lapis Aspal Beton (Laston)

Menurut Sukirman (1992) lapis aspal beton yaitu suatu lapisan pada konstruksi jalan raya, yang terdiri dari campuran aspal keras dengan agregat yang bergradasi menerus dengan atau tanpa bahan tambahan, yang dicampur, diamparkan, dan dipadatkan dengan keadaan panas pada suhu tertentu.

Berdasarkan spesifikasi campuran beraspal Departemen Pekerjaan Umum 2010, Laston (AC) terdiri dari tiga macam campuran, yaitu.

1. Laston Lapis Aus (AC-WC), dengan ukuran maksimum agregat adalah 19 mm.
2. Laston Lapis Pengikat (AC-BC), dengan ukuran maksimum agregat adalah 25,4 mm.
3. Laston Lapis Pondasi (AC-Base), dengan ukuran maksimum agregat adalah 37,5 mm.

Asphalt Concrete - Binder Course (AC-BC) merupakan lapisan perkerasan yang terletak di bawah lapisan aus (*wearing course*) dan di atas lapisan fondasi (*base course*). Lapisan ini tidak berhubungan langsung dengan cuaca, tetapi harus mempunyai ketebalan dan kekakuan yang cukup untuk mengurangi tegangan/regangan akibat beban lalu lintas yang akan diteruskan ke lapisan di bawahnya yaitu *base* dan *sub grade* (tanah dasar). Karakteristik yang terpenting pada campuran ini adalah stabilitas. Untuk mengetahui letak dari lapisan AC-BC dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Konstruksi Lapisan Laston (AC)

B.2 Bahan Tambah (Limbah Botol Plastik)

Bahan tambah merupakan bahan yang dapat ditambahkan ke dalam campuran beraspal yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas campuran beraspal. Sehingga dapat meningkatkan kekerasan serta kekuatan untuk jalan yang sering dilalui kendaraan berat dan dapat juga meningkatkan nilai viskositas pada saat proses pengolahannya.

Menurut Mujiarto (2005) plastik adalah suatu polimer yang mempunyai sifat-sifat unik dan luar biasa. Polimer adalah suatu bahan yang terdiri dari unit molekul yang disebut monomer. Jika monomernya sejenis disebut homopolimer, dan jika monomernya berbeda akan menghasilkan kopolimer. Polimer alam yang telah kita kenal antara lain : selulosa, protein, karet alam dan sejenisnya. Secara garis besar, plastik dapat dikelompokkan menjadi dua golongan, yaitu : plastik *thermoplast* dan plastik *thermoset*. Plastik *thermoplast* adalah plastik yang dapat dicetak berulang-ulang dengan adanya panas (dapat didaur ulang). Sedangkan plastik *thermoset* adalah plastik yang apabila telah mengalami kondisi tertentu tidak dapat dicetak kembali karena bangun polimernya berbentuk jaringan tiga dimensi (tidak dapat didaur ulang).

Menurut Suroso (2008), pencampuran plastik untuk menaikkan kinerja campuran beraspal ada dua cara yaitu cara basah dan cara kering.

- a. Cara basah (*wet process*) merupakan suatu cara pencampuran dimana plastik dimasukkan kedalam aspal panas dan diaduk dengan kecepatan tinggi sampai homogen. Cara ini

membutuhkan tambahan dana cukup besar antara lain bahan bakar, mixer kecepatan tinggi sehingga aspal modifikasi yang dihasilkan harganya cukup besar bedanya dibandingkan dengan aspal konvensional.

- b. Cara kering (*dry process*) yaitu suatu cara pencampuran dimana plastik dimasukkan kedalam agregat yang dipanaskan pada temperatur campuran, kemudian aspal panas ditambahkan. Cara ini lebih murah, dikatakan lebih murah karena tidak perlu ada aspal yang harus dikeluarkan dari tangki aspal di AMP apabila tangki aspal akan digunakan untuk keperluan pencampuran aspal dengan aspal konvensional. Selain lebih murah, cara kering ini juga lebih mudah karena hanya dengan memasukkan plastik dalam agregat panas, tanpa membutuhkan peralatan lain untuk mencampur (*mixer*).

C. METODOLOGI PENELITIAN

C.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu.

1. Aspal penetrasi 60/70 merek Esso.
2. Agregat merupakan hasil pengolahan PT Mitra Beton di Rimbo Panjang yang berasal dari daerah Pangkalan, Sumatera Barat.

3. Botol plastik yang digunakan merupakan botol plastik air mineral dengan kode 1 pada bagian bawah botol dengan merk yang sama. Botol plastik yang sudah dipotong dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Limbah Botol Plastik Setelah Dipotong

C.2 Pengujian Bahan Penyusun Campuran Aspal

C.2.1 Pengujian Aspal

Penelitian ini menggunakan aspal penetrasi 60/70 yang biasa digunakan pada konstruksi perkerasan jalan raya di Indonesia. Adapun pengujian yang akan dilakukan untuk melihat karakteristik aspal dapat dilihat pada Tabel 1.

C.2.2 Pengujian Agregat

Pengujian yang akan dilakukan untuk melihat karakteristik agregat dapat dilihat pada Tabel 2 dan 3.

Tabel 1. Propertis Pengujian Aspal PEN 60/70

Sifat-sifat Material Yang Diuji	Standar Uji	Satuan	Hasil Uji	Spesifikasi	
				Min	Maks
Penetrasi, 25 °C, 100 gram, 5 detik	SNI-06-2456-1991	dmm	63,80	60	70
Penetrasi, (Setelah Kehilangan Berat)	SNI-06-2456-1991	%	90,13	54	-
Titik Lembek (<i>Softening Point</i>)	SNI-06-2432-1991	°C	56,50	48	-
Titik Nyala degan <i>Cleveland Open Cup</i>	SNI-06-2433-1991	°C	270	232	-
Daktilitas, 25 °C, 5 cm/menit	SNI-06-2432-1991	cm	149	100	-
Daktilitas, (Setelah Kehilangan Berat)	SNI-06-2432-1991	cm	109	100	-
Berat Jenis	SNI-06-2441-1991		1,085	1	-
Kehilangan Berat (TFOT)	SNI-06-2441-1991	% berat	0,296	-	0,8
Viskositas Kinematis 135°C (cSt)	SNI 06-6441-2000	cSt	345	300	-

Tabel 2. Propertis Pengujian Agregat Kasar

Pengujian			Standar	Hasil Pengujian	Spesifikasi	
					Min	Maks
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan (%)		natrium sulfat	SNI 3407:2008	-	-	12
		magnesium sulfat		2,21	-	18
Abrasi dengan mesin	Campuran AC Modifikasi	100 putaran	SNI 2417:2008	-	-	6
		500 putaran		-	-	30
Los Angeles (%)	Semua jenis campuran aspal bergradasi lainnya	100 putaran		-	-	8
		500 putaran		38,83	-	40
Kelekatan agregat terhadap aspal (%)			SNI 2439:2011	96,20	95	-
Butir pecah pada agregat kasar (%)			SNI 7619:2012	98,47	95/90	
Partikel pipih dan lonjong (%)			ASTM D4791 Perbandingan 1: 5	9,71	-	10

Tabel 3. Propertis Pengujian Agregat Halus

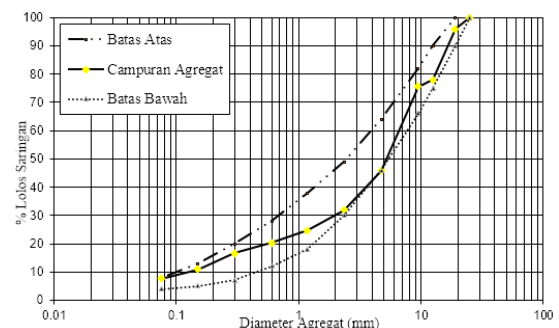
Pengujian	Standar	Hasil Pengujian	Spesifikasi	
			Min	Maks
Nilai setara pasir (%)	SNI 03-4428-1997	74,76	60	-
Angularitas dengan uji kadar rongga (%)	SNI 03-6877-2002	46,33	45	-
Gumpalan lempung dan butir - butir mudah pecah dalam agregat (%)	SNI 03-4141-1996	0,089	-	1

C.3 Proporsi Agregat dan Limbah Botol Plastik

Penelitian ini hanya menggunakan 1 variasi campuran agregat yang didapat dari pengambilan nilai diantara batas atas dan batas bawah persentase lolos saringan yang telah ditetapkan dalam Tabel 4 dan Gambar 3.

Tabel 4. Proporsi Agregat

Nomor Saringan		Perkiraan Proporsi Masing-masing Fraksi				Spesifikasi Lolos Saringan	
		Fraksi 1	Fraksi 2	Fraksi 3	Jumlah	Batas Bawah	Batas Atas
mm	inch	25%	35%	40%	100%		
37,5	1 1/2"	25	35	40	100	100	100
25	1"	25	35	40	100	100	100
19	3/4"	20,9	34,94	40	95,85	90	100
12,5	1/2"	3,24	34,78	40	78,02	75	90
9,5	3/8"	0,98	34,49	39,98	75,46	66	82
4,75	No. 4	0,21	5,84	39,78	45,83	46	64
2,36	No. 8	0,20	1,07	30,64	31,91	30	49
1,18	No. 16	0,19	0,87	23,66	24,73	18	38
0,60	No. 30	0,19	0,82	19,31	20,32	12	28
0,30	No. 50	0,19	0,78	15,64	16,61	7	20
0,15	No. 100	0,18	0,71	10,04	10,93	5	13
0,075	No. 200	0,17	0,63	6,90	7,70	4	8



Gambar 3. Grafik Gradasi Agregat AC-BC

Sedangkan untuk variasi penggunaan limbah botol plastik berdasarkan persentase variasi kadar aspal yang akan ditentukan kemudian. Variasi limbah botol plastik yang akan digunakan adalah 0%; 2%; 4% dan 6% dari persentase kadar aspal.

Metode penambahan limbah botol plastik untuk menaikkan kinerja campuran beraspal menggunakan cara kering (*dry process*).

C.4 Perkiraan Kadar Aspal dan Jumlah Sampel

Penentuan kadar aspal rencana dapat ditentukan dengan menggunakan rumus empiris. Dalam penelitian ini hanya ada satu kadar aspal rencana karena yang akan divariasikan adalah limbah botol plastik terhadap aspal. Sedangkan rumus empiris mengacu pada gradasi agregat yang digunakan. Berikut ini adalah perhitungan penentuan kadar aspal rencana.

$$\begin{aligned} P_b &= 0,035(\%CA) + 0,045(\%FA) + 0,18(\%FF) + C \\ P_b &= 0,035(68,09\%) + 0,045(24,21\%) + 0,18(7,7\%) + 1 \\ P_b &= 5,86\% \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas didapat nilai kadar aspal rencana adalah 5,86% atau sekitar 6%, kemudian ditentukan nilai variasi kadar aspal untuk menentukan kadar aspal optimum (KAO) yaitu 5%; 5,5%; 6%; 6,5% dan 7%.

Berdasarkan variasi kadar aspal, kadar limbah botol plastik dan jenis pengujian yang akan dilakukan untuk mendapatkan KAO, maka jumlah benda uji yang dibutuhkan adalah sebanyak 60 buah dengan uraian pada Tabel 5.

Tabel 5. Jumlah Benda Uji untuk Menentukan KAO

Kadar Aspal (%)	Variasi Botol Plastik Terhadap Persentase Aspal (%)				Jumlah Sampel (buah)
	0	2	4	6	
5	3	3	3	3	12
5,5	3	3	3	3	12
6	3	3	3	3	12
6,5	3	3	3	3	12
7	3	3	3	3	12
Total					60

Setelah didapatkan kadar aspal optimum untuk masing-masing variasi campuran, pengujian dilanjutkan dengan membuat benda uji Marshall pada kondisi kadar aspal optimum dengan pengujian Marshall standar dengan jumlah sampel yang dibutuhkan dapat dilihat pada Tabel 6 berikut.

Tabel 6. Jumlah Benda Uji pada Kondisi KAO

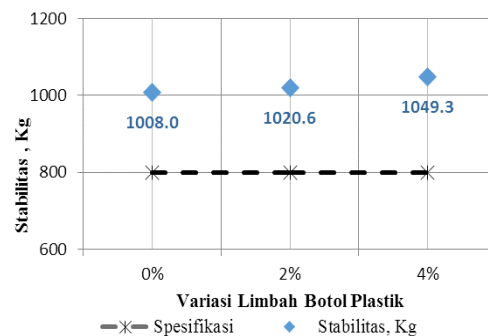
Variasi Botol Plastik (%)	Marshall Standar	Jumlah Sampel (buah)
0	3	3
2	3	3
4	3	3
6	3	3
Total		12

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

D.1 Pengujian Marshall pada Kondisi Kadar Aspal Optimum (KAO)

Setelah didapatkan nilai KAO dari masing-masing campuran, selanjutnya dilakukan pembuatan benda uji pada masing-masing variasi limbah botol plastik untuk melihat karakteristik Marshall yang meliputi stabilitas, *flow*, VMA, VFA, VIM dan MQ.

D.1.1 Stabilitas

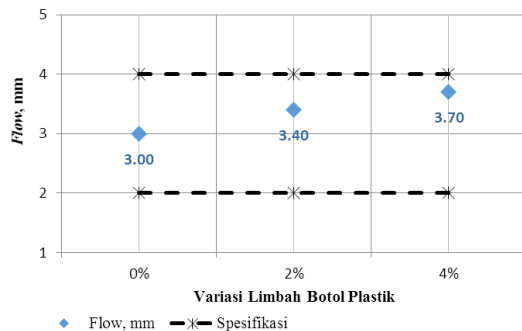


Gambar 4. Hubungan Stabilitas dengan Variasi Limbah Botol Plastik

Dari Gambar 4 di atas dapat dilihat bahwa nilai stabilitas pada masing-masing variasi limbah botol plastik berada di atas spesifikasi yang disyaratkan yaitu 800 kg. Stabilitas yang paling rendah dihasilkan oleh variasi limbah botol plastik 0% yaitu sebesar 1008,0 kg. Hal ini menunjukkan bahwa variasi tanpa limbah botol plastik menghasilkan benda uji yang lebih lembek namun masih berada di atas spesifikasi. Pada variasi limbah botol plastik 2% terjadi kenaikan sebesar 1,25% dari variasi limbah botol plastik 0% menjadi 1020,6 kg dan nilai stabilitas tertinggi terdapat pada variasi limbah botol plastik 4% dengan persentase kenaikan 4,10% dari variasi

limbah botol plastik 0% menjadi 1033,8 kg. Dari grafik dapat dilihat bahwa nilai stabilitas tertinggi ditunjukkan pada variasi limbah botol plastik 4%.

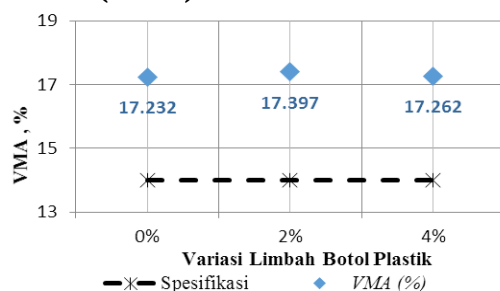
D.1.2 Kelelehan (*Flow*)



Gambar 5. Hubungan *Flow* dengan Variasi Limbah Botol Plastik

Dari Gambar 5 di atas dapat dilihat bahwa nilai *flow* untuk tiap variasi limbah botol plastik telah memenuhi spesifikasi yaitu antara 2 mm sampai 4 mm. Dari grafik dapat dilihat bahwa nilai *flow* mengalami peningkatan. Nilai *flow* terendah terdapat pada variasi limbah botol plastik 0% sebesar 3,00 mm, pada variasi limbah botol plastik 2% mengalami peningkatan sebesar 13,33% terhadap variasi limbah botol plastik 0% dengan nilai *flow* 3,40 mm dan nilai *flow* tertinggi terdapat pada variasi limbah botol plastik 4% dengan peningkatan sebesar 23,33% dari variasi limbah botol plastik 0% menjadi 3,70 mm. Karena bertambahnya kadar limbah botol plastik akan mengakibatkan nilai *flow* semakin tinggi, maka benda uji semakin bersifat plastis dan akan menjadi lembek.

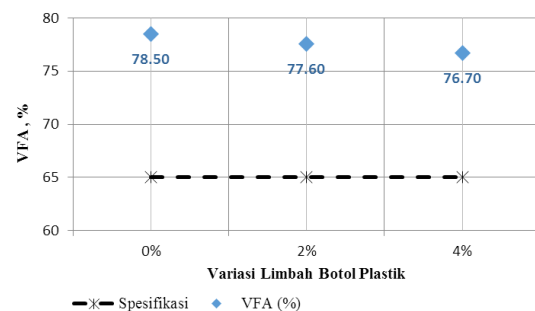
D.1.3 Voids of Material Aggregate (VMA)



Gambar 6. Hubungan VMA dengan Variasi Limbah Botol Plastik

Dari Gambar 6 dapat dilihat bahwa nilai VMA untuk semua variasi limbah botol plastik memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan yaitu 14%. Nilai VMA terendah terdapat pada variasi limbah botol plastik 0% sebesar 17,232%. Pada variasi limbah botol plastik 2% terjadi peningkatan sebesar 0,96% terhadap variasi limbah botol plastik 0% menjadi 17,397%. Lalu pada variasi limbah botol plastik 4% nilai VMA terjadi penurunan sebesar 0,17% dari variasi limbah botol plastik 0% menjadi 17,262%. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kenaikan dan penurunan nilai VMA seperti kualitas pemadatan dan kadar aspal. Kenaikan nilai VMA pada variasi limbah botol plastik 2% dipengaruhi oleh kadar aspal yang tinggi dan sudah ditambah dengan limbah botol plastik sehingga mengakibatkan persentase rongga pada campuran menjadi lebih sedikit.

D.1.4 Voids Filled with Asphalt (VFA)



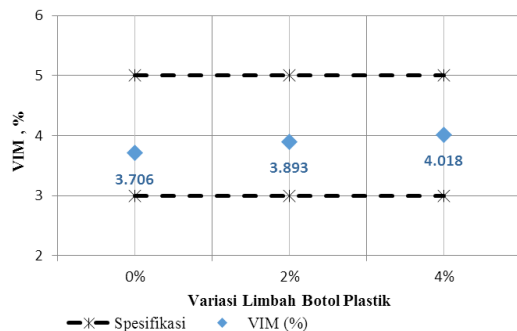
Gambar 7. Hubungan VFA dengan Variasi Limbah Botol Plastik

Dari Gambar 7 di atas dapat dilihat bahwa nilai VFA pada masing-masing variasi limbah botol plastik berada di atas spesifikasi yang telah disyaratkan yaitu 65%. Dari grafik dapat dilihat bahwa nilai VFA mengalami peningkatan yang cukup jauh, nilai VFA tertinggi terdapat pada variasi limbah botol plastik 0% sebesar 78,50%, pada variasi limbah botol plastik 2% nilai VFA mengalami penurunan sebesar 1,15% dari variasi limbah botol plastik 0% menjadi 77,60% dan nilai VFA pada variasi limbah botol plastik 4% kembali menurun sebesar 2,29% dari

variasi limbah botol plastik 0% menjadi 76,70%.

Pada campuran variasi limbah botol plastik 4% kadar aspal yang ditambahkan paling kecil yaitu 6,58%. Hal ini mengakibatkan persentase rongga terisi aspal pada campuran menjadi lebih sedikit dan menyebabkan rendahnya nilai VFA.

D.1.5 Voids In Mixture (VIM)



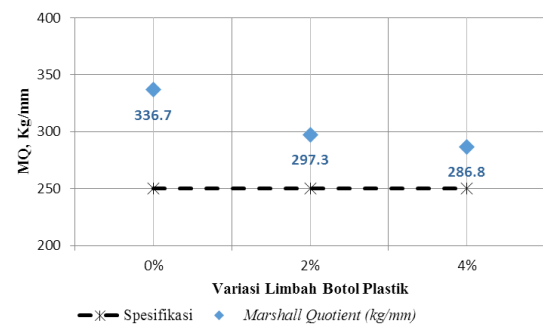
Gambar 8. Hubungan VIM dengan Variasi Limbah Botol Plastik

Dari Gambar 8 di atas dapat dilihat bahwa nilai VIM pada masing-masing variasi limbah botol plastik sudah memenuhi spesifikasi yang disyaratkan yaitu sebesar 3-5%. Pada variasi limbah botol plastik 0% nilai VIM yang dihasilkan sebesar 3,706% dan merupakan nilai VIM terendah. Nilai VIM mengalami peningkatan pada variasi limbah botol plastik 2% sebesar 5,05% dari variasi limbah botol plastik 0% menjadi 3,893% dan nilai VIM pada variasi limbah botol plastik 4% kembali meningkat sebesar 8,42% dari variasi limbah botol plastik 0% yaitu sebesar 4,018% dan merupakan nilai VIM tertinggi. Nilai VIM mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya variasi botol plastik diikuti dengan kadar aspal yang ditambahkan pada campuran juga semakin sedikit sehingga mengakibatkan rongga dalam campuran menjadi meningkat.

D.1.6 Marshall Quotient (MQ)

MQ merupakan angka yang menyatakan tingkat kelenturan (*flexibility*) suatu campuran. Semakin besar nilai MQ menunjukkan bahwa campuran aspal

tersebut kurang baik karena menunjukkan campuran aspal semakin getas.



Gambar 9. Hubungan Marshall Quotient dengan Variasi Limbah Botol Plastik

Pada Gambar 9 di atas dapat dilihat bahwa nilai MQ untuk setiap variasi limbah botol plastik sudah memenuhi spesifikasi yang telah disyaratkan yaitu sebesar 250 kg/mm. Nilai MQ pada variasi limbah botol plastik 0% yaitu sebesar 336,7 kg/mm. Pada variasi limbah botol plastik 2% terjadi penurunan nilai MQ sebesar 11,70% dari variasi limbah botol plastik 0% menjadi 297,3 kg/mm. Nilai MQ pada variasi limbah botol plastik 6% kembali menurun sebesar 14,82% dari variasi limbah botol plastik 0% yaitu sebesar 286,8 kg/mm. Kenaikan dan penurunan nilai MQ dipengaruhi oleh stabilitas dan *flow* pada campuran. Nilai stabilitas yang kecil dan nilai *flow* yang besar menghasilkan campuran yang lembek dan mudah berubah bentuk jika terbebani beban.

E. KESIMPULAN DAN SARAN

E.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan pengaruh penambahan limbah botol plastik terhadap karakteristik Marshall pada beton aspal lapis pengikat dapat disimpulkan sebagai berikut.

- Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan,
 - Variasi limbah botol plastik yang direkomendasikan untuk campuran AC-BC yang memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2010 revisi 3 yaitu variasi limbah botol plastik 0% karena nilai karakteristik

Marshall mengindikasikan bahwa campuran tanpa penambahan limbah botol plastik lebih baik dibanding yang sudah ditambah dengan limbah botol plastik.

- b. Nilai stabilitas pada setiap penambahan limbah botol plastik mengalami kenaikan.
 - c. Nilai *flow* mengalami peningkatan setiap penambahan limbah botol plastik. Hal ini dikarenakan semakin banyaknya kadar limbah botol plastik yang digunakan sehingga mengakibatkan benda uji bersifat plastis dan akan menjadi lembek.
 - d. Nilai VMA mengalami peningkatan pada variasi 2% tetapi kembali turun pada variasi 4%. Hal ini disebabkan oleh kadar aspal yang digunakan dan kualitas pada saat proses pemadatan benda uji.
 - e. Nilai VFA mengalami penurunan pada setiap penambahan limbah botol plastik. Hal ini dikarenakan limbah botol plastik pada saat pencampuran kurang tercampur dengan baik, sehingga kurang mengisi rongga-rongga yang ada.
 - f. Nilai VIM mengalami peningkatan setiap penambahan limbah botol plastik. Hal ini dikarenakan banyaknya rongga pada campuran sehingga dapat memperpendek umur campuran.
 - g. Nilai MQ mengalami penurunan setiap penambahan limbah botol plastik. Hal ini menunjukkan campuran bersifat plastis dan lentur sehingga mudah mengalami perubahan bentuk.
2. Variasi limbah botol plastik optimum yang dapat ditambahkan dalam campuran AC-BC adalah 4% dari berat aspal. Nilai tersebut berdasarkan rentang variasi limbah botol plastik yang digunakan. Variasi limbah botol plastik 6% tidak dapat digunakan karena nilai karakteristik Marshall

tidak memenuhi syarat Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 revisi 3.

E.2 Saran

1. Penelitian mengenai durabilitas, uji tarik tak langsung (*indirect tensile strength*) dan pengujian lainnya pada penambahan limbah botol plastik yang berkaitan dengan campuran beraspal dapat dilakukan.
2. Pencampuran plastik dapat dilakukan dengan cara basah (*wet process*) sebagai pembanding dengan pencampuran plastik menggunakan cara kering (*dry process*).

DAFTAR PUSTAKA

- Arianti, A., Nasrul, N., & Balaka, R. (2015). Analisis Pengaruh Penambahan Polyethylene Terephthalate (PET) Terhadap Karakteristik Marshall Sebagai Bahan Tambahan Pada Campuran Laston AC-BC. *DINAMIKA-Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 6(2).
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2010). Spesifikasi Umum Edisi 2010 (Revisi 3). *Kementerian Pekerjaan Umum. Direktorat Jenderal Bina Marga*.
- Mujiarto, I. (2005). Sifat dan Karakteristik Material Plastik dan Bahan Aditif. *Jurnal Traksi*, 3(2), 11–17.
- Nasution, M. (2017). Pengaruh Penambahan Plastik Pet (Polyethylene Terephthalate) Terhadap Karakteristik Campuran Laston AC-WC di Laboratorium. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Sumatera Utara*.
- Prameswari, P. A. (2016). *Pengaruh Pemanfaatan PET pada Laston Lapis Pengikat Terhadap Parameter Marshall*. Skripsi Fakultas Teknik Universitas Lampung.
- Purnamasari, P. E., & Suryaman, F. (2010). Pengaruh Penggunaan Limbah Botol Plastik Sebagai Bahan Tambah Terhadap Karakteristik Lapis Aspal Beton (Laston). *Prociding of Konferensi Nasional Teknik Sipil 4, Sanur*.

- Suhardi, S., Pratomo, P., & Ali, H. (2016). Studi Karakteristik Marshall Pada Campuran Aspal Dengan Penambahan Limbah Botol Plastik. *Jurnal Rekayasa Sipil Dan Desain*, 4(2), 284–293.
- Sukirman, S. (1999). Perkerasan Lentur Jalan Raya. *Nova, Bandung*, 2.
- Sukirman, S. (2003). Beton Aspal Campuran Panas. *Edisi Ke-1. Jakarta: Granit*.
- Surono, U. B., & Ismanto, I. (2016). Pengolahan Sampah Plastik Jenis PP, PET dan PE Menjadi Bahan Bakar Minyak dan Karakteristiknya. *Jurnal Mekanika Dan Sistem Termal*, 1(1), 32–37.
- Wantoro, W., Kusumaningrum, D., Setiadi, B. H., & Kushardjoko, W. (2013). Pengaruh Penambahan Plastik Bekas Tipe Low Density Polyethylen (LDPE) Terhadap Kinerja Campuran Beraspal. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 2(4), 366–381.
- Wasiah Suroso, T. (2008). Pengaruh Penambahan Plastik LDPE (Low Density Polyethylen) Cara Basah dan Cara Kering Terhadap Kinerja Campuran Beraspal. *Jurnal Media Komunikasi Teknik Sipil*, Tahun 16, Nomor 3, pp. 208-222
- Widodo, A. D. (2014). Pengaruh Penambahan Limbah Botol Plastik *Polyphthylene Terephthalate* (PET) dalam Campuran Laston-WC Terhadap Parameter Marshall. *Jurnal Penelitian*. Yogyakarta : Teknik Sipil, UMY.
- Yulianto, R. (2013). Rancang Bangun Sistem Transmisi Pada Mesin Pencacah Plastik Bekas Kemasan. *Jurnal Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret*.
- Zulfiani, A. R. (2012). Studi Karakteristik Campuran Aspal Beton (AC-WC) Terhadap Pengaruh Plastik Sebagai Bahan Subtitusi Aspal. *Jurnal Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin*, Makassar.