

## KARAKTERISTIK MARSHAL CAMPURAN ASPAL BETON MENGGUNAKAN LIMBAH PLASTIK

Abdul Gaus<sup>a\*</sup>, Nurmayasa Marsaoly<sup>b</sup>, Muhammad Taufiq Y.S<sup>c</sup>, Ilham Udin<sup>d</sup>

<sup>a</sup>Universitas Khairun, Ternate, Indonesia

<sup>b</sup>Universitas Khairun, Ternate Indonesia

<sup>c</sup>Universitas Khairun, Ternate Indonesia

<sup>d</sup>CV. Lalim Konstruksi, Ternate Indonesia

Article history

Received

7 Agustus 2020

Received in revised form

12 September 2020

Accepted

3 Oktober 2020

\*Corresponding author

[gausmuhammad@gmail.com](mailto:gausmuhammad@gmail.com)

### Graphical abstract

### Abstract

The road is the backbone of an area in distributing goods and services passengers, so that the construction of the road body must be strong and resistant to traffic loads that pass by every day. In this study, the use of plastic as an alternative to asphalt concrete was tried. Drink packaging using plastic bottles is a common thing these days, a lot of plastic bottle waste is wasted and not used, this will add to the burden on the government in recycling plastic waste, it is hoped that the use of alternative additives for used plastic drink bottles of PET types can help. government in recycling plastic waste, can also improve the quality of asphalt concrete pavement. In this study, what is reviewed is the effect of adding PET plastic as an added material to the asphalt concrete mixture on Marshall characteristics which include VIM, VMA, VFB, Stability, Flow, and Marshall Quotient. The results showed that Marshall characteristics such as VFB value with asphalt content of 4.5% (58.35) and Flow (3.20) tended to be lower than normal concrete asphalt mixtures. While the Marshall value tends to increase in VIM, with asphalt content of 4.5% (3.20), stability (1214.5) and MQ (380.34) due to the influence of the use of PET and asphalt content in the mixture in certain compositions showing good performance. Based on the specifications of Bina Marga 2010, the optimum asphalt content was 6%. It can be concluded that the addition of PET to the asphalt will increase the quality of the asphalt and at the same time will increase the quality of the asphalt concrete mixture..

*Keywords:* Asphalt concrete, plastic waste, Polyethylene Terephthalate, Marshall

### Abstrak

Jalan raya merupakan tulang punggung suatu kawasan dalam menyalurkan penumpang barang dan jasa, sehingga konstruksi badan jalan harus kuat dan tahan terhadap beban lalu lintas yang berlalu lalang setiap hari. Dalam penelitian ini dicoba penggunaan plastik sebagai alternative bahan tambah aspal beton. Kemasan minuman menggunakan botol plastik merupakan hal yang umum dewasa ini, limbah botol plastiknya banyak yang terbuang dan tidak dimanfaatkan, hal ini akan menambah beban bagi pemerintah dalam mendaur ulang sampah plastik, diharapkan penggunaan alternative bahan tambah plastik bekas botol minuman jenis PET tersebut selain dapat membantu pemerintah dalam mendaur ulang sampah plastik, juga dapat meningkatkan kualitas perkerasan aspal beton. Pada penelitian ini yang ditinjau adalah pengaruh penambahan plastik jenis PET sebagai bahan tambah pada campuran aspal beton terhadap karakteristik Marshall yang meliputi VIM, VMA, VFB, Stabilitas, Flow, dan Marshall Quotient. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karakteristik Marshall seperti nilai VFB dengan kadar aspal 4,5% (58,35) dan Flow (3,20) cenderung lebih rendah dari campuran aspal beton normal. Sedangkan nilai Marshall cenderung meningkat terdapat pada VIM, dengan kadar aspal 4,5% (3,20), stabilitas (1214,5) dan MQ (380,34) karna pengaruh penggunaan PET dan kadar aspal dalam campuran pada komposisi tertentu menunjukkan kinerja yang baik. Berdasarkan spesifikasi Bina Marga 2010 didapatkan kadar aspal optimum 6%, dapat disimpulkan bahwa penambahan PET ke dalam aspal akan meningkat kualitas aspal dan sekaligus akan meningkatkan kualitas campuran beton aspalnya

*Kata kunci:* Aspal Beton, Polyethylene Terephthalate, limbah plastic, Marshall

© 2020 Penerbit Fakultas Teknik Unkhair. All rights reserved

## 1.0 PENDAHULUAN

Rilis dari Badan Pusat Statistik (BPS) Indonesia dan data Asosiasi Industri Plastik Indonesia (INAPLAS), diperkirakan Indonesia menyumbang sampah plastik ke Bumi mencapai 64 juta ton/tahun yang mana sekitar 3,2 juta ton merupakan sampah plastik yang dibuang ke laut dan kantong plastik yang terbangun ke lingkungan sebanyak 10 miliar lembar per tahun atau sebanyak 85.000 ton kantong plastik. Pada tahun 2016, Indonesia masuk dalam peringkat kedua terbesar di dunia setelah China sebagai negara penyumbang sampah plastik ke laut dengan berat sekitar 187,2 juta ton/per tahun [1].

Terus meningkatnya penggunaan plastik dalam masyarakat berdampak pada meningkatnya limbah plastik, hal ini menjadi masalah terhadap lingkungan, keterbatasan tempat pembuangan akhir (TPA) untuk memilah dan mendaur ulang limbah plastik membutuh adanya solusi lainnya. Telah banyak alternatif yang dicoba oleh pemerintah seperti pembangunan pembangkit listrik tenaga sampah, mendaur ulang sampah plastik dan pembatasan penggunaan kantong plastik, namun semua itu belum cukup memberikan dampak yang signifikan dalam mengurangi limbah plastik dalam masyarakat.

Ada solusi lain yang dapat ditempuh yaitu penggunaan limbah plastik dalam campuran aspal, hal ini cukup memungkinkan untuk diaplikasikan karena plastik memiliki sifat yang dapat bereaksi dengan aspal, namun masih perlu penelitian lebih lanjut. Saat ini pemerintah telah melakukan uji coba penggunaan limbah kantong plastik dalam campuran aspal, hasil baru dapat diketahui beberapa tahun kedepan. Sehingga diperlukan penelitian yang secara terus menerus dan berkelanjutan untuk mendapatkan hasil yang positif penggunaan limbah plastik dalam campuran aspal beton.

Penggunaan limbah plastik untuk konstruksi baik perkerasan kaku maupun fleksibel telah dilakukan oleh banyak peneliti di tanah air, namun umumnya digunakan dalam campuran beton karena lebih mudah untuk didesain, berbeda dengan campuran aspal yang memerlukan cukup banyak parameter seperti temperature dan beban berulang. Penggunaan limbah plastik dalam campuran beton sebagai bahan substitusi agregat kasar, dihasilkan bahwa semakin tinggi persentase limbah plastik maka kekuatan akan menurun, penggunaan 100% bahan plastik berdampak pada menurunnya kekuatan beton hingga 60,81% [2]. Sampah plastik jenis High Density Polyethylene dapat digunakan sebagai bahan beton ringan pada struktur kusen beton, panel dinding dan cladding [3].

Campuran aspal beton memiliki beberapa karakteristik dan suatu campuran aspal amat sulit memenuhi semua karakteristik dimaksud, karakteristik kedap air (impermeability), stabilitas, kemudahan pelaksanaan (workability), keawetan (durability), kelenturan (flexibility), tahanan geser (skid resistance) dan ketahanan terhadap kelelahan [4].

Material limbah plastik seperti styrofoam dan pvc, mempunyai potensi untuk digunakan dalam campuran aspal panas [5] (Mashuri dkk, 2011). Penambahan limbah plastik High Density Polyethylene HDPE dan Polyester (PE) menurunkan nilai penetrasi aspal karena plastik menjadikan aspal lebih keras. Nilai penetrasi campuran aspal HDPE cenderung lebih rendah bila dibanding campuran PE hal ini tidak lepas dari pengaruh titik leleh dari plastik yang berbeda. Semakin tinggi titik lelehnya maka nilai penetrasi campuran aspalnya akan semakin rendah [6,7]. Aspal dimodifikasi dengan limbah plastik HDPE yang memenuhi spesifikasi adalah dengan HDPE lebih kecil dari 4% [8]. Campuran aspal dimodifikasi HDPE menunjukkan peningkatan stabilitas hal ini menunjukkan HDPE berpengaruh dalam meningkatkan ketahanan terhadap deformasi permanen (rutting) aspal beton.

Beberapa hal yang dapat dilakukan untuk meningkatkan mutu perkerasan aspal diantaranya penggunaan aspal alam seperti aspal buton granular asphalt sebagai substitusi aspal minyak [9, 10, 11]. Peningkatan mutu perkerasan aspal dengan menggunakan aspal modifikasi merupakan cara lainnya dalam mengurangi kerusakan struktur perkerasan aspal, Modifikasi campuran aspal menggunakan bahan aditif seperti arang, plastik dan polimer [4]. Penggunaan polimer aditif dari limbah plastik jenis HDPE dalam campuran aspal beton dapat meningkatkan nilai Marshall Quotient (MQ) setinggi 50% bila dibanding campuran kontrol, ini mengindikasikan bahwa terjadi peningkatan ketahanan deformasi permanen aspal beton [12].

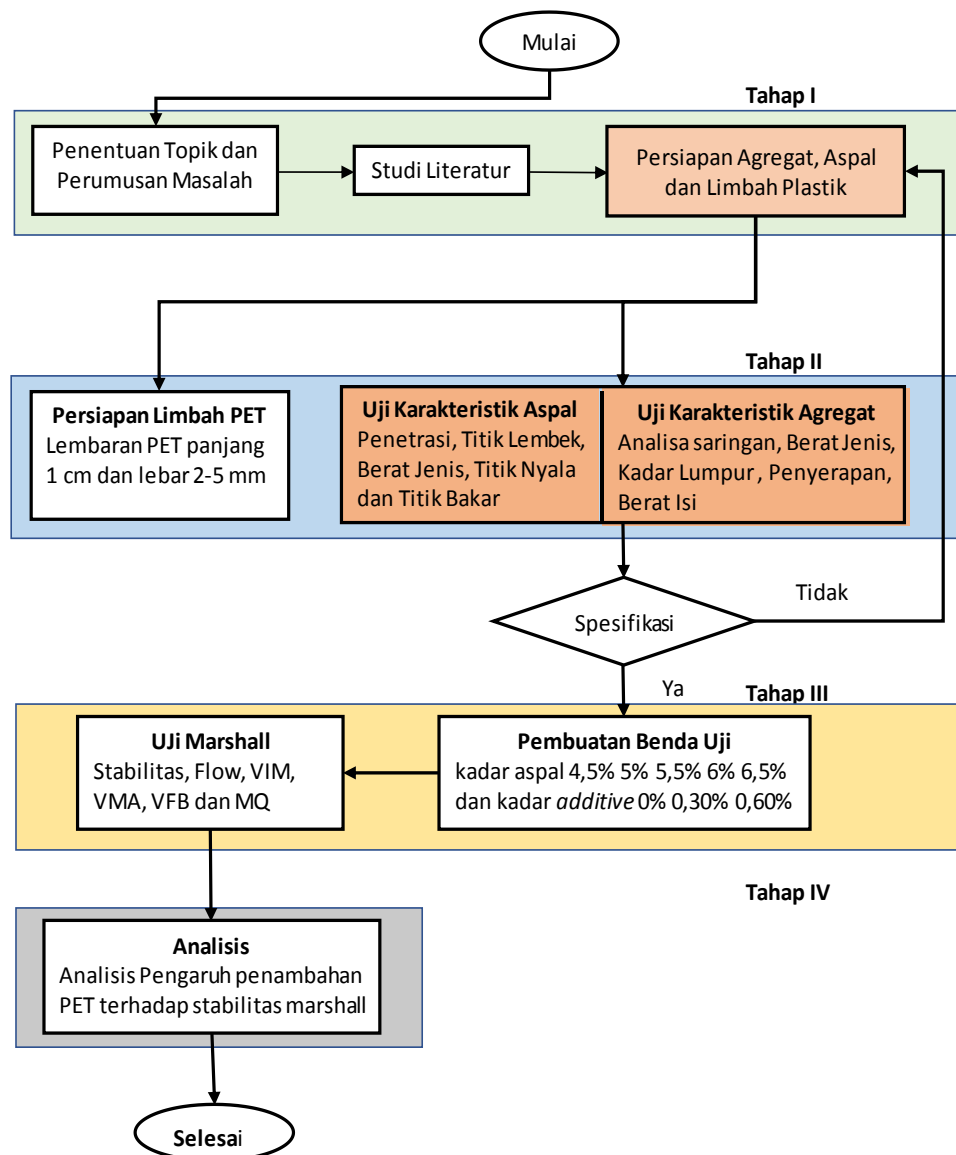
Berdasarkan hasil uji karakteristik Marshall pada campuran AC-BC menggunakan agregat kasar batu pecah dan aspal penetrasi 60/70 dengan penambahan aditif limbah kantong plastik yang telah memenuhi spesifikasi tahun 2010, hal ini mengindikasikan bahwa campuran aspal ini dapat menahan beban lalu lintas jika diaplikasikan dilapangan [13]. Berat jebis aspal modifikasi dengan limbah plastik HDPE meningkat seiring dengan penambahan plastik HDPE, penambahan limbah plastik HDPE sebesar 2-4 % terhadap berat aspal memberikan

dampak yang positif pada campuran LASTON (AC-BC), semua nilai karakteristik Marshall memenuhi dan campuran tahan terhadap cuaca ekstrem [8].

Nilai volumetrik campuran aspal AC-WC meningkat dengan adanya penambahan limbah plastik Low Density Polyethylene (LDPE), nilai VFB mengalami peningkatan namun nilai VIM dan VMA mengalami penurunan [14]. Karakteristik aspal yang meliputi: viskositas, titik nyala dan titik bakar, berat jenis dan nilai penetrasi menurun dengan penambahan plastik LDPE menurunkan, namun terjadi peningkatan pada titik lembek aspal [15].

## 2.0 METODE PENELITIAN

Penelitian ini sifat merupakan terapan yang mengaplikasikan penggunaan limbah plastik dalam campuran aspal beton, adapun tahap penelitian yang akan dilaksanakan sebagai berikut:



Gambar 1. Diagram alir penelitian

1. Tahap pertama, kegiatan persiapan bahan meliputi persiapan agregat dan limbah plastik yang akan digunakan, dalam penelitian antara lain pasir, abu batu, agregat kasar, bitumen aspal penetrasi 60/70 dan limbah plastik jenis Polyethylene Terephthalate (PET). Khusus agregat kasar digunakan material alam yang telah diolah menggunakan *stone crusher* sehingga umumnya berbentuk kubikal. Material abu batu dan pasir akan ditatang

dari lokasi pengolahan kelurahan Tubo dan Kalumata. Limbah plastik PET didapatkan dari tempat pembuangan akhir (TPA) kota Ternate atau dari masyarakat dengan terlebih dahulu dilakukan pemilahan jenis plastik jenis PET dan dilanjutkan pembersihan plastik dari lumpur dan bahan organik lainnya.

2. Tahap pengujian agregat, material yang telah siap digunakan dilakukan pengujian untuk memastikan variabel pengaruh limbah plastik dalam campuran aspal. Pengujian agregat yang akan dilakukan adalah pengujian Analisa saringan, berat jenis, penyerapan, berat isi dan kadar lumpur atau kandungan organik. Bitumen aspal dilakukan pengujian penetrasi, titik lembek, titik nyala dan titik bakar serta berat. Adapun limbah plastik PET tidak dilakukan pengujian dan hanya dikelompokkan berdasarkan kode pada produk yang ada.
3. Tahap perencanaan campuran aspal, pembuatan benda uji dan pengujian, berdasarkan karakteristik fisik dari agregat kasar, agregat halus dan abu batu direncanakan komposisi campuran aspal untuk mendapatkan nilai kadar aspal optimum. Dibuat 3 (tiga) variasi persentase penambahan PET kedalam campuran aspal AC-WC. Benda uji dibuat dalam bentuk selinder sesuai persyaratan SNI untuk uji marshall. Uji marshall dilakukan di laboratorium jalan dan aspal Universitas Khairun.

### 3.0 HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Sifat PET

Menjelaskan Polyethylene merupakan film yang lunak, transparan dan fleksibel, mempunyai kekuatan benturan serta kekuatan sobek yang baik. Dengan pemanasan akan menjadi lunak dan mencair pada suhu  $110^{\circ}\text{C}$ . PET mempunyai kombinasi sifat-sifat: kekuatan (strength) yang tinggi, kaku (stiffness), dimensinya stabil, tahan bahan kimia dan panas, serta mempunyai sifat elektrik yang baik. PET memiliki daya serap uap air yang rendah, demikian juga daya serap terhadap air. PET dapat diproses dengan proses ekstrusi pada suhu tinggi  $518-608^{\circ}\text{F}$ , selain itu juga dapat diproses dengan teknik cetak injeksi maupun cetak tiup. Sebelum dicetak sebaiknya resin PET dikeringkan lebih dahulu (maksimum kandungan uap air  $0,02\%$ ) untuk mencegah terjadinya proses hidrolisa selama pencetakan. Gambar 2. Menunjukkan PET yang digunakan dalam campuran aspal.

PET dengan rumus kimia ( $\text{C}_{10}\text{H}_8\text{O}_3$ ) bahan ini bersumber umumnya dari *glikol* (EG) dan *terephthalic acid*. Umumnya mudah dikenali dengan sifat-sifat fisik: film PET bersifat jernih, liat, kuat, memiliki dimensi yang stabil, tahan terhadap panas, tidak beracun, permeabilitas terhadap gas. Selain itu juga PET memiliki daya serap uap air yang rendah sehingga memungkinkan untuk di jadikan sebagai bahan tambah atau bahan substitusi pada campuran aspal. Penggunaan PET dalam industry sangat luas sehingga mudah dijumpai diantaranya untuk botol-botol untuk air mineral, soft drink, kemasan sirup, saus, selai, minyak makan dan Botol minuman plastik yang beredar di Indonesia terbuat dari PET, dapat dikenali dengan simbol angka 1 pada bagian dasar botol. PET memiliki berat jenis  $1,38\text{ g/cm}^3$  ( $20^{\circ}\text{C}$ ), titik leleh  $2500\text{ C}$ , titik didih  $3500\text{C}$  (terdekomposisi), modulus elastisitas  $2800-3100\text{ MPa}$ , dan kuat tarik  $55-75\text{ MPa}$



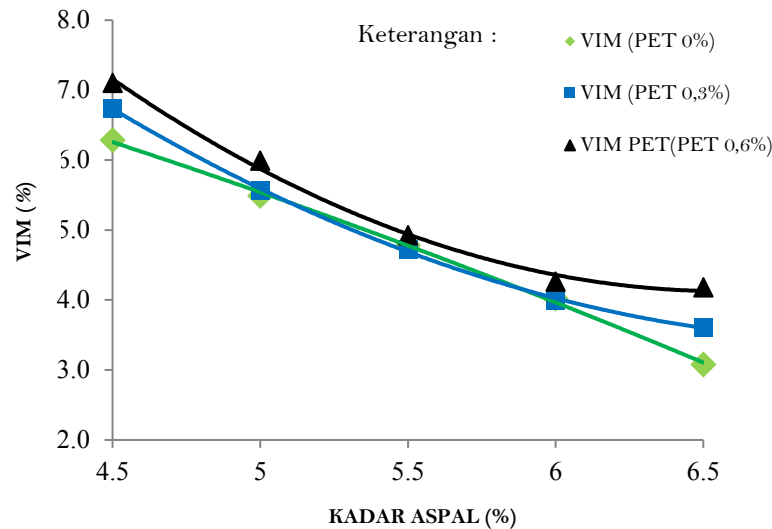
Gambar 2. Potongan Limbah PET

#### 3.2. Hubungan Kadar Aspal dengan VIM (Voids in Mix)

Spesifikasi Umum Bina Marga untuk VIM dibatasi antara  $3\% - 5\%$  untuk campuran Laston. Nilai VIM  $3\%$  menunjukkan rongga dalam campuran relatif rendah atau kecil yang menjadikan tidak tersedianya ruang yang

cukup yang dapat menyebabkan aspal naik kepermukaan (bleeding). Demikian halnya dengan VIM diatas 5% dapat menyebabkan campuran kurang kedap air dan udara, sehingga campuran aspal beton campuran panas mudah retak (crack) dan kurang tahan lama (durable). Hubungan kadar aspal dengan VIM (Voids In Mix) ditunjukkan pada gambar 3 sebagai berikut:

Dalam variasi aspal minyak pen. 60/70 menghasilkan nilai Voids in Mix (VIM) masing-masing 6,28%, 5,49%, 4,78%, 4,02%, dan 3,08%. Sedangkan hasil penggunaan variasi Plastik 0,3% dan 0,6% menghasilkan nilai Void in Mix (VIM) masing – masing 6,74%, 5,57%, 4,73%, 4,00%, 3,61% (PET 0,3%) dan 7,10%, 5,99%, 4,92%, 4,26%, 4,18% (PET 0,6%).

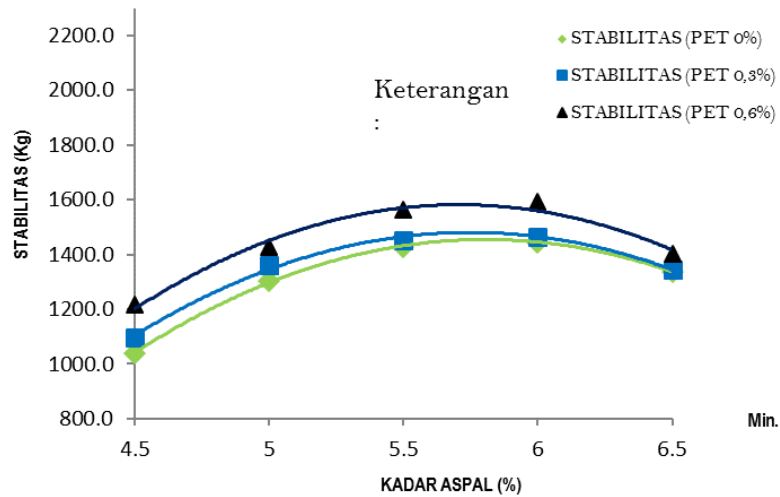


**Gambar 3.** Hubungan Kadar Aspal dengan VIM

### 3.2 Hubungan Kadar Aspal dengan Stabilitas

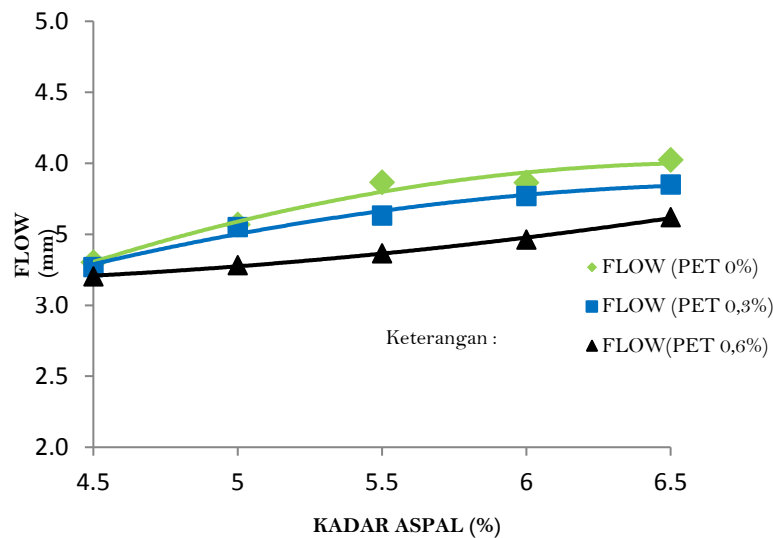
Dalam variasi aspal minyak pen. 60/70 menghasilkan nilai Stabilitas masing-masing 1038,90,kg 1301,12,kg 1428,74,kg 1444,67,kg dan 1337,20,kg Sedangkan hasil penggunaan variasi Plastik 0,3% dan 0,6% menghasilkan nilai Stabilitas masing – masing 1098,03,kg 1361,44,kg 1452,43,kg, 1465,37,kg 1346,11,kg (PET 0,3%) dan 1214,51,kg 1424,96,kg 1533,66,kg 1592,20,kg 1400,67,kg (PET 0,6%).

Gambar 5 menunjukkan seiring penambahan kadar plastik, nilai stabilitas cenderung naik pada kadar aspal 5,5 - 6%. Hal ini disebabkan plastik yang di tambahkan berbentuk serat bersudut dan agregat yang terselimuti aspal saling mengunci dengan baik. Posisi agregat tidak mudah bergeser dari tempatnya ketika diberi beban, sehingga stabilitas meningkat. Pada kadar aspal yang lebih tinggi 6,5%, nilai stabilitas turun dari pada nilai stabilitas pada kadar aspal 6% untuk variasi kadar plastik 0,6%. Kadar aspal yang makin tinggi menyebabkan selimut aspal menjadi semakin tebal dan campuran menjadi lebih lunak. Saat beban bertambah, aspal mudah bergeser dan menyebabkan deformasi pada campuran, sehingga nilai stabilitas campuran nilai menjadi menurun. Nilai stabilitas tertinggi adalah 1592,20 kg pada campuran dengan kadar aspal 6% dan kadar plastik 0,6% sedangkan nilai stabilitas terendah adalah 1038,90 kg pada campuran dengan kadar aspal 4,5% tanpa penambahan plastik. Semua nilai variasi campuran memenuhi syarat minimal stabilitas 800 kg.



Gambar 4. Hubungan Kadar Aspal dengan Stabilitas

### 3.3 Hubungan Kadar Aspal dengan Flow

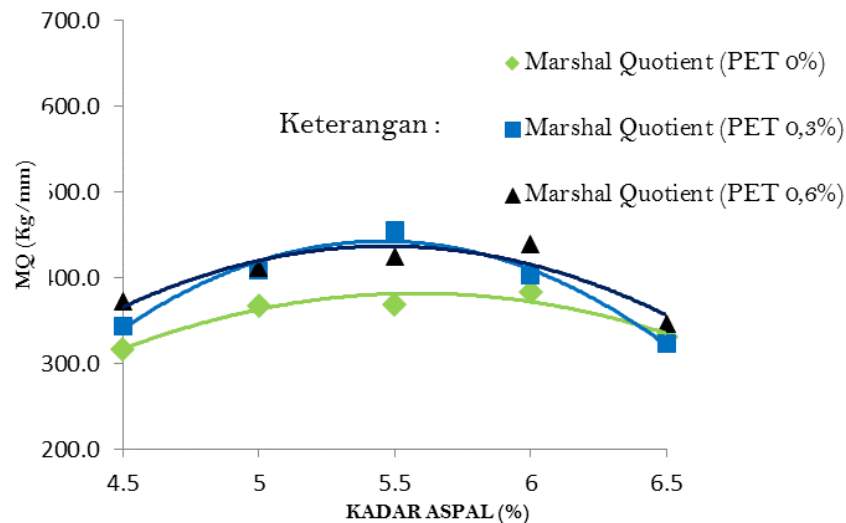


Gambar 5. Hubungan Kadar Aspal dengan Flow

Gambar 5 di atas menunjukkan bahwa dengan kenaikan kadar plastik, nilai flow cenderung menurun pada kadar aspal 4,5-5,5%. Hal ini disebabkan viskositas aspal yang meningkat seiring penambahan kadar plastik sehingga aspal yang mengisi rongga semakin kecil, namun masih mampu meningkatkan agregat, menyebabkan nilai flow turun. Pada kadar aspal 6-6,5%, nilai flow cenderung meningkat seiring penambahan kadar plastik. Hal ini disebabkan meningkatnya kadar aspal menyebabkan campuran semakin lunak dan meningkat nilai flow.

### 3.4 Hubungan Kadar Aspal dengan *Marshall Quotient* (MQ)

Nilai MQ sangat tergantung oleh besarnya nilai Stabilitas yang dipengaruhi gesekan antar butir (interlocking), gradasi dan sifat cohesifness dari agregat penyusun serta flow yang di pengaruhi oleh kadar aspal kekentalan (viscosity) dan jumlah tumbukan. Gambar 6, menunjukkan hubungan kadar aspal dengan MQ



**Gambar 6.** Hubungan Kadar Aspal dengan MQ

Untuk variasi aspal minyak pen. 60/70 menghasilkan nilai MQ masing-masing 316,14 kg/mm, 369,41 kg/mm, 382,57 kg/mm, dan 331,32 kg/mm, Sedangkan hasil penggunaan variasi Plastik 0,3% dan 0,6% menghasilkan nilai MQ masing – masing 336,58 kg/mm, 382,85 kg/mm, 416,55 kg/mm, 390,21 kg/mm, 359,53 kg/mm, (PET 0,3%) dan 380,34 kg/mm, 433,01 kg/mm, 457,55 kg/mm, 458,38 kg/mm, 389,18 kg/mm, (PET 0,6%).

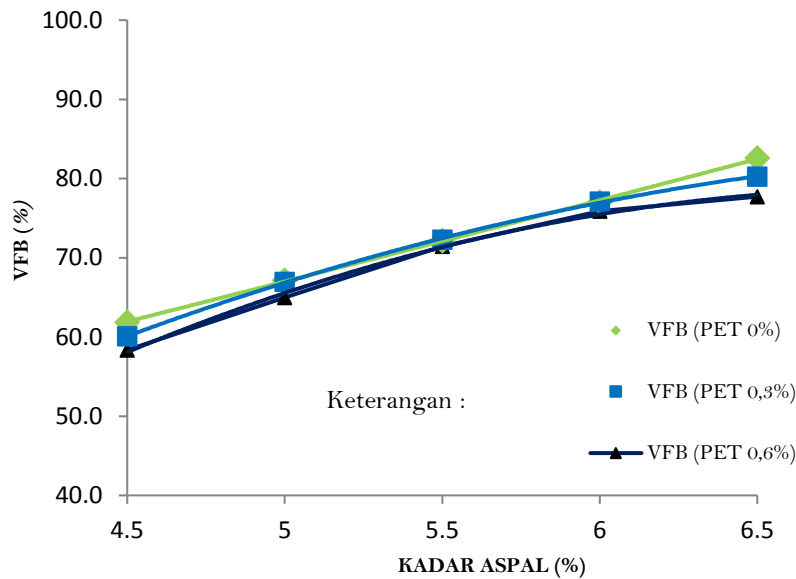
Pada Gambar 6 menunjukkan bahwa nilai MQ campuran dengan penambahan plastik cenderung lebih tinggi daripada campuran tanpa plastik. Disebabkan karna nilai stabilitas campuran dengan plastik lebih tinggi dan nilai flownya juga lebih kecil daripada campuran tanpa plastik. Spesifikasi yang disyaratkan nilai MQ 250 kg/mm, dari hasil penelitian Marshall, nilai MQ yang memenuhi persyaratan adalah campuran beton aspal pada kadar aspal 4,5% dengan kadar plastik 0,3% dan 0,6%.

### 3.5 Hubungan Kadar Aspal dengan VFB/VFWA (*Voids Filled Bitument/Voids Filled with Asphalt*)

Semakin besar nilai *VFB* semakin kecil nilai *VIM*, hal ini menunjukkan bahwa rongga yang terisi oleh aspal semakin banyak dan oleh karena itu campuran aspal beton campuran panas akan semakin tahan lama dan sebaliknya jika *VFB* kecil, maka rongga yang terisi aspal sedikit dan agregat yang diselimuti oleh aspal dalam kondisi tipis yang dapat menyebabkan campuran aspal beton campuran panas tidak tahan lama.

Campuran AC-WA dengan variasi aspal minyak pen. 60/70 menghasilkan nilai VFB berturut-turut 61,85%, 67,15%, 72,18%, 77,01%, dan 82,59%. Sedangkan hasil penggunaan variasi Plastik 0,3% dan 0,6% menghasilkan nilai VFB berturut-turut 60,09%, 66,96%, 72,30%, 77,08%, 80,27% (PET 0,3%) dan 58,35%, 64,99%, 71,44%, 75,91%, 77,72% (PET 0,6%).

Gambar 7. menunjukkan bahwa seiring penambahan kadar aspal, nilai VFB juga semakin meningkat. Hal ini disebabkan peningkatan kadar aspal yang menyebabkan rongga dalam campuran yang dapat diisi aspal juga semakin meningkat. Dilihat dari penambahan plastik, nilai VFB semakin menurun. Hal ini disebabkan saat pencampuran plastik tidak limer sempurna, masih berbentuk serat yang juga ikut diselimuti aspal dan mengurangi jumlah aspal yang seharusnya mengisi rongga dalam campuran. Nilai VFB tertinggi adalah 82,59% pada campuran dengan kadar aspal 6,5% tanpa penambahan plastik, sedangkan nilai VFB terendah adalah 58,35% pada campuran dengan kadar aspal 4,5% dan kadar plastik 0,6%. Nilai VFB yang memenuhi persyaratan minimal 65% adalah campuran aspal 6,5% untuk semua variasi penambahan kadar plastik.



Gambar 7. Hubungan Kadar Aspal dengan VFB

#### 4.0 KESIMPULAN

Pada Campuran beton berdasarkan pengujian marshall yang telah dilakukan terhadap campuran laston AC-WC dengan penambahan PET bekas botol minum. Untuk nilai penambahan kadar PET 6% pada campuran aspal menunjukkan bahwa dengan nilai VFB pada kadar aspal 4,5% ( 58,3 ) dan nilai *Flow* ( 3,20 ) cenderung lebih rendah, sedangkan nilai VIM dengan kadar aspal 4,5% ( 3,20 ), Stabilitas ( 1214,51 ) dan *MQ* ( 380,3 ) cenderung meningkat dibandingkan campuran aspal beton tanpa plastik. Dari beberapa penelitian dapat disimpulkan bahwa penambahan PET ke dalam aspal akan meningkatkan kualitas aspal dan sekaligus akan meningkatkan kualitas campuran beton aspalnya.

#### Daftar Pustaka

- [1] Indonesia. Go.ID, 31 July 2019, 02:42 WIB, Fortal Informasi Indonesia, <https://indonesia.go.id/narasi/indonesia-dalam-angka/sosial/menenggelamkan-pembuang-sampah-plastik-dilaut>
- [2] Supratikno, Ratnanik, 2019. Pemanfaatan Limbah Plastik sebagai Pengganti Agregat Kasar pada Campuran Beton. jurnal teknik sipil ITP, Vol. 6 No.1, halaman 21–29.
- [3] Rommel E., 2015. Pembuatan Beton Ringan Dari Agregat Buatan Berbahan Plastik Jurnal Gamma, Volume 9, No 1, halaman 137-147.
- [4] Afriyanto B., Indriyati E. W., Hardini, P., 2018. Analisis Variasi Kadar Limbah Plastik Low Density Polyethylene (LDPE) Dalam Aspal Modifikasi Terhadap Karakteristik Dasar Aspal, Prosiding Simposium Forum Studi Transportasi antar Perguruan Tinggi ke-21, halaman 366-377.
- [5] Mashuri, Batti J. F., 2011. Pemanfaatan Material Limbah Pada Campuran Beton Aspal Campuran Panas, MEKTEK Ilmiah, Tahun XIII, No 3, halaman. 204–212.
- [6] Rahmawati A., Rosyada, M. A., Nega, P. 2015. Perbandingan Pengaruh Penambahan Plastik High Density Polyethylene (HDPE) Dalam Laston-WC dan Lataston-WC Terhadap Karakteristik Marshall, Seminar Nasional Teknik Sipil V Tahun 2015, halaman T129-137.
- [7] Rahmawati A., 2015. Pengaruh Penggunaan Plastik Polyethylene (PE) dan High Density Polyethylene (HDPE) pada Campuran Lataston-WC Terhadap Karakteristik Marshall, Jurnal Ilmiah Semesta Teknik, Vol. 18, No.2, 147-159, halaman 147-159.
- [8] Sumiati, Mahmuda, Syapawi A., 2019. Perkerasan Aspal Beton (Ac-Bc) Limbah Plastik HDPE yang Tahan Terhadap Cuaca Ekstrem. Construction and Material Journal, Vol. 1 No.1, halaman 1–11.



- [9] Abdul Gaus, Tjaronge, M. W., Ali, N., & Djamaluddin, R., 2014. Studi Karakteristik Marshall Campuran Aspal Concrete Bearing Coarse (Ac Bc) Yang Menggunakan Buton Granular Asphalt (BGA)
- [10] Amrin, M. A., Gaus, A., & Darwis, M. (2017). Studi Kuat Tarik Tidak Langsung Pada Campuran Asphalt Concrete Menggunakan Asbuton. *Jurnal SipilSains*, Volume 7, Nomor 14.
- [11] Ismuddin B Saifuddin, Abdul Gaus, Chairul Anwar, 2017. Studi Karakteristik Kuat Tekan Pada Campuran Asphalt Concrete Menggunakan Asbuton. *Jurnal SipilSains*, Volume 7, Nomor 13.
- [12] Prasetyo H., Hartantyo S. D., Pratikto H., Wahyudiono H., 2018. Penggunaan Limbah Polietilen Densitas Tinggi Sebagai Pengubah Bitumen Dalam Campuran Beton Aspal, *UkaRsT* Volume 2, No 1, halaman 62-70.
- [13] Fitri S., Saleh S. M., Isya M., 2018. Pengaruh Penambahan Limbah Plastik Kresek Sebagai Substitusi Aspal Pen. 60/70 Terhadap Karakteristik Campuran Laston AC – BC, *Jurnal Teknik Sipil*, Volume 1 Special Issue, No 3, halaman 737-748.
- [14] Razak B. A., Erdiansa, A., 2016. Karakteristik Campuran AC-WC dengan Penambahan Limbah Plastik Low Density Polyethylene (LDPE), *Journal INTEK*, Volume 3 (1), halaman 8-14.
- [15] Afriyanto B., Indriyati E. W., Hardini, P., 2019. Pengaruh Limbah Plastik Low Density Polyethylene Terhadap Karakteristik Dasar Aspal, *Jurnal Transportasi* Vol. 19 No. 1, halaman 59-66.

