

Pengaruh Penggunaan Limbah Polyethylene Terephthalate Terhadap Campuran Aspal Concrete Binder Course

Abdul Gaus¹⁾, Raudha Hakim²⁾, Seniyasmin³⁾

^{1, 2, 3)} Program Studi Teknik Sipil Universitas Khairun,

Jln Jusuf Abdurrahman, No.1, Kompleks Garuda, Kota Ternate Selatan

Email: gaussmuhammad@gmail.com¹⁾, raudhahakim@ymail.com²⁾,

Seniyasmin1995@gmail.com³⁾

DOI: <http://dx.doi.org/10.29103/tj.v12i1.683>

(Received: December 2021 / Revised: February 2022 / Accepted: February 2022)

Abstrak

Penggunaan plastik sebagai kemasan makanan dan minuman hingga saat ini belum tergantikan, dampaknya keberadaan limbah plastik semakin meningkat. Unsur penyusun utama plastik adalah karbon dan hydrogen hal ini identik dengan unsur penyusun utama dari aspal. Indonesia merupakan salah satu negara pengimpor aspal, 50% kebutuhan aspal dalam negeri dipenuhi dengan mengimpor dari luar negeri. Salah satu solusi yang dapat dilakukan untuk mengurangi limbah plastik dan mengurangi impor aspal adalah penggunaan limbah plastik sebagai campuran aspal beton untuk mengurangi penggunaan aspal. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penggunaan limbah plastik jenis PET pada campuran aspal AC-BC. Limbah PET dibuat dalam bentuk serat yang ditambahkan dalam campuran aspal dengan komposisi 0.3% dan 0.6% yang dibanding dengan campuran aspal tanpa PET. Penambahan serat PET dalam campuran aspal menunjukkan bahwa stabilitas aspal semakin meningkat dengan bertambahnya persentase serat PET dalam campuran aspal, nilai flow menjadi lebih kecil hal ini mengindikasikan bahwa campuran aspal cenderung lebih kaku, nilai MQ juga menjadi lebih besar.

Kata kunci: *Aspal, plastik, limbah, marshall, PET*

Abstract

The use of plastic as food and beverage packaging has not been replaced until now, the impact of the existence of plastic waste is increasing. The main constituent elements of plastic are carbon and hydrogen, which are identical to the main constituent elements of asphalt. Indonesia is one of the asphalt importing countries, 50% of domestic asphalt needs are met by importing from other countries. One solution that can be done to reduce plastic waste and reduce asphalt imports is the use of plastic waste as a mixture of asphalt-concrete to reduce the use of asphalt. This study aims to analyze the effect of the use of PET type plastic waste on the AC-BC asphalt mixture. PET waste is made in the form of fiber which is added to the asphalt mixture with a composition of 0.3% and 0.6% compared to the asphalt mixture without PET. The addition of PET fibers in the asphalt mixture indicates that the asphalt stability increases with the increase in the percentage of PET fibers in the asphalt mixture, the flow value becomes smaller, this indicates that the asphalt mixture tends to be stiffer, the MQ value also becomes larger.

Keywords: *Asphalt, plastic, waste, marshall, PET*

1. Latar Belakang

Indonesia menempati urutan terbesar kedua sebagai negara penghasil sampah plastik yang mengotori samudra setelah China. Setiap tahunnya Indonesia diperkirakan menyumbang 1.29 juta meter ton, setingkat dibawah dari negara Republik Rakyat China yang menyumbang sekitar 3.53 metrik ton setiap tahunnya (Wacaksono and Arijanto, 2017). Plastik merupakan senyawa polimer alkena yang mencakup dari produk polimerisasi semi sintetis hingga sintetis termasuk didalamnya *Polyethylene Terephthalate* (PET) (Burhanuddin, Basuki and Darmanijati, 2020). Diperkirakan dibutuhkan waktu sekitar 450 tahun untuk mengurai PET (Wacaksono and Arijanto, 2017), dapat dibayangkan berapa banyak sampah plastik yang menumpuk dari tahun ke tahun jika tidak dilakukan pencegahan atau solusi untuk mengurangi volume dari sampah plastik.

Penelitian tentang penggunaan limbah plastik pada campuran aspal di tanah air masih minim, penelitian ada dewasa ini lebih fokus pada penggunaan limbah kantong plastik yang dijadikan sebagai bahan tambah atau substitusi dalam campuran aspal. Para peneliti di perguruan tinggi umumnya fokus dalam penggunaan limbah plastik pada campuran beton karena lebih mudah untuk didesain, berbeda dengan campuran aspal yang memerlukan cukup banyak pengukuran parameter seperti temperature dan kelekatan. Penggunaan limbah plastik sebagai sebagai bahan pengganti agregat halus dalam campuran beton dapat meningkatkan kuat tekan dan lentur (Handayasari, 2017). Sampah plastik jenis *High Density Polyethylene* dapat diaplikasikan dengan baik pada beton ringan non struktur (Rommel, 2015).

Material limbah plastik seperti *styrofoam* dan *pvc*, mempunyai potensi untuk digunakan dalam campuran aspal panas (Mashuri dan Joi Fredy Batti, 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 (Rahmawati, 2015).

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 (Fitri, Saleh and Isya, 2018). Berat jenis 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 (Sumiati, Mahmuda and Syapawi, 2019).

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 (Razak and Erdiansa, 2016), Penggunaan limbah plastik LDPE dalam campuran aspal dapat meningkatkan kekakuan campuran aspal namun memiliki pori yang lebih besar (Wantoro *et al.*, 2013). Penambahan limbah plastik dalam campuran aspal memberikan dampak pada meningkatnya nilai stabilitas dan kekakuan (Wijayanti and Radam, 2021). 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 (Afriyanto, Indriyati and Hardini, 2019).

Berdasarkan uraian sebelumnya, diketahui bahwa penelitian penggunaan limbah plastik pada campuran aspal telah banyak dikerjakan, namun masih kurang penelitian tentang penggunaan *Polyethylene Terephthalate* (PET) pada aspal beton, sehubungan dengan hal tersebut penelitian tentang pengaruh PET terhadap campuran aspal beton binder course (AC-BC) penting untuk dilakukan. Jenis plastik ini sangat umum dijumpai dalam masyarakat karena sebagian besar botol minuman berbahan dasar plastik jenis PET

2. Metode Penelitian

2.1 Pengujian Karakteristik Fisik Agregat

Pengujian karakteristik fisik agregat kasar dan halus berpedoman pada tata cara pengujian SNI, meliputi pengujian analisa saringan, kadar lumpur agregat, abrasi, berat jenis dan penyerapan agregat kasar, berat jenis agregat halus dan penyerapan, indeks kepipihan. Spesifikasi dan standar pengujian agregat ditampilkan dalam tabel 1. Data hasil pengujian berupa karakteristik agregat, aspal akan diolah untuk menghasilkan suatu rancangan campuran aspal yang sesuai dengan spesifikasi, jenis campuran yang akan didesain adalah AC-BC. Berat jenis agregat dihitung dengan menggunakan formula 1, 2 dan 3.

Energi spesifik:

$$\text{Berat Jenis Bulk} = \frac{B_k}{B_j - B_a} \quad (1)$$

$$\text{Berat Jenis SSD} = \frac{B_j}{B_j - B_a} \quad (2)$$

$$\text{Berat Jenis Semu (Apparent)} = \frac{B_k}{B_k - B_a} \quad (3)$$

Keterangan:

B_k : Berat benda uji kering oven, dalam gram

B_j : Berat benda uji kering permukaan jenuh (SSD), dalam gram

B_a : Berat benda uji kering permukaan jenuh di dalam air, dalam gram

Tabel 1 Jenis dan metode uji agregat

No	Jenis Pengujian	Metode Uji	Persyaratan
1	Penyerapan (%)	SNI-03-4426-1996	Maks. 3%
2	Berat Jenis Agregat Kasar		
	Berat Jenis Bulk	SNI-1969-2016	Min 2.5
	Berat Jenis SSD	SNI-1969-2016	Min 2.5
	Berat Jenis semu	SNI-1969-2016	Min 2.5
3	Kadar lumpur (%)	SNI-03-4142-1996	Maks. 5%
4	Indeks kepipihan (%)	SNI-03-1969-1990	Maks. 5%
5	Keausan (%)	SNI-2417-2008	Maks. 40%

2.2 Limbah Plastik PET

Jenis plastik yang digunakan adalah plastik jenis PET yang berasal dari sampah botol minuman air kemasan yang berwarna transparan. Plastik ini akan dipotong dalam bentuk ukuran yang kecil dengan ukuran panjang maksimal 10 mm dan lebar sekitar 2-5 mm.



Gambar 1. PET yang telah dipotong

2.3 Stabilitas Marshall

Uji stabilitas marshall berpedoman pada standar SNI SNI 06-2489-1991, pengujian ini sifatnya merupakan jenis pengujian emperik pada campuran aspal. Nilai stabilitas umumnya digunakan sebagai parameter yang memberikan gambaran kemampuan suatu campuran dalam menahan deformasi yang terjadi akibat beban lalu lintas (Gaus *et al.*, 2014). Marshall test dimaksudkan untuk menentukan kelelahan plastis (flow), nilai stabilitas, MQ, rongga antar butir agregat (VMA), rongga terisi aspal (VFA), persen rongga dalam campuran (VIM) dan berat volume (Fitri, Saleh and Isya, 2018). Adapun formula untuk menghitung nilai VIM, VMA, VFA ditunjukkan pada formula 4,5 dan 6. Nilai stabilitas marshall yang disyaratkan oleh spesifikasi umum tahun 2018 oleh direktorat Jenderal Bina Marga sebesar 800 kg dan nilai flow berada pada rentang 2-4 mm.

Jumlah sampel dan variasi kadar aspal (KA) yang digunakan dalam campuran aspal ditunjukkan pada tabel 2. Campuran AC-BC menggunakan PET dilakukan dengan metode kering dimana lembaran PET akan dicampurkan kedalam campuran aspal setelah aspal dan agregat tercampur secara merata, sehingga lembaran plastik diharapkan masih tetap utuh dalam bentuk lembaran dan aspal masih tetap dapat menyelimuti agregat dengan sempurna. VIM didapat menggunakan formula 4

$$VIM = \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \times 100\% \quad (4)$$

Keterangan:

- VIM : Rongga udara dalam campuran
- G_{mb} : Berat jenis bulk campuran aspal yang dipadatkan
- G_{mm} : Berat jenis bulk campuran aspal yang tidak dipadatkan

Nilai VIM untuk campuran AC-BC sesuai dengan spesifikasi disyaratkan minimal 3% dan maksimal 5%, VMA didapatkan menggunakan formula 5

$$VMA = 100\% - \frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}} \times 100\% \quad (5)$$

Keterangan:

- VMA : Rongga antar mineral agregat
- G_{mb} : Berat jenis maksimum campuran aspal yang dipadatkan
- P_s : Kadar agregat (persen berat total campuran)
- G_{sb} : Berat jenis bulk total dari agregat

Nilai VMA untuk campuran AC-BC sesuai dengan spesifikasi disyaratkan minimal 14%, untuk nilai VFA didapat dengan menggunakan formula 6

$$VFA = \frac{VMA - VIM}{VMA} \times 100\% \quad (6)$$

Keterangan:

- VFA : Rongga terisi aspal
 VMA : Rongga antar mineral agregat
 VIM : Rongga udara dalam campuran

Nilai VFA untuk campuran AC-BC sesuai dengan spesifikasi disyaratkan minimal 65%, nilai MQ didapat dengan menggunakan formula 7

$$MQ = \frac{MS}{MF} \quad (7)$$

Keterangan:

- MQ : Marshall Quotient (Kekakuan) (kg/mm)
 MS : Marshall stability (kg)
 MF : flow Marshall (mm)

Tabel 2 Persentase PET dan jumlah benda uji

No	Kode Sampel	Benda Uji	Jml Sampel (buah)
1	BC T1	KA 4,5%, tanpa PET	5
2	BC T2	KA 5,0%, tanpa PET	5
3	BC T3	KA 5,5%, tanpa PET	5
4	BC T4	KA 6,0%, tanpa PET	5
5	BC T5	KA 6,5%, tanpa PET	5
6	BC M1	KA 4,5% + 0,3% PET	5
7	BL M2	KA 5,0% + 0,3% PET	5
8	BL M3	KA 5,5% + 0,3% PET	5
9	BL M4	KA 6,0% + 0,3% PET	5
10	BL M5	KA 6,5% + 0,3% PET	5
11	BL A1	KA 4,5% + 0,6% PET	5
12	BL A2	KA 5,0% + 0,6% PET	5
13	BL A3	KA 5,5% + 0,6% PET	5
14	BL A4	KA 6,0% + 0,6% PET	5
15	BL A5	KA 6,5% + 0,6% PET	5

3. Hasil dan Pembahasan

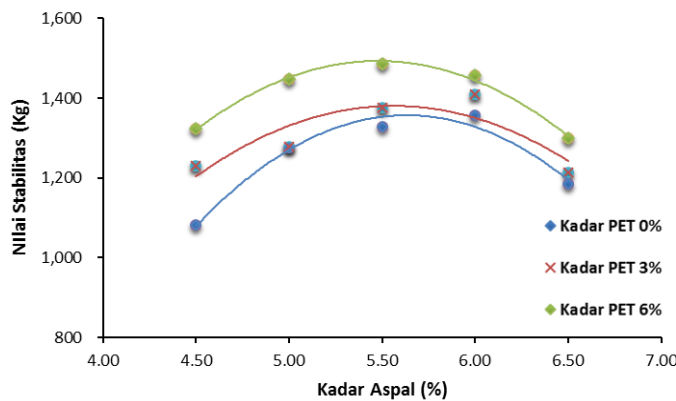
3.1 Pengujian Karakteristik Fisik Agregat

Agregat merupakan penyusun utama campuran aspal beton, proporsinya bisa mencapai hingga 94%. Untuk memudahkan pembuatan komposisi campuran aspal beton, agregat yang digunakan dikelompok dalam agregat pecah kasar ukuran butiran 10-20 mm, agregat pecah butran 5-10 mm dan agregat halus dengan ukuran butiran 0-5 mm. Berdasarkan pengujian agregat didapatkan hasil bahwa agregat pecah kasar dan sedang telah memenuhi spesifikasi seperti yang disyarat untuk campuran aspal beton. Hasil uji fisik menunjukkan, keausan lebih kecil dari 40% dengan nilai 32%, material ini cukup kuat untuk berfungsi sebagai tulangan dalam campuran aspal yang kuat terhadap gesekan dan beban yang diterima di jalanan yang diakibatkan oleh kendaraan. Kadar lumpur sebesar 1,2% lebih kecil dari 5%,

agregat ini cukup bersih sehingga diharapkan aspal dapat mengisi rongga yang terdapat dalam agregat sehingga membentuk lekatan yang kuat. Indeks kepipihan berada sebesar 20% lebih kecil dari yang disyaratkan sebesar 25% sehingga agregat ini tidak mudah patah saat menerima beban, agregat umumnya berbentuk kubikal yang menjadikan terjadinya kuncian antar agregat yang kuat. Berat jenis lebih besar dari 2,5%.

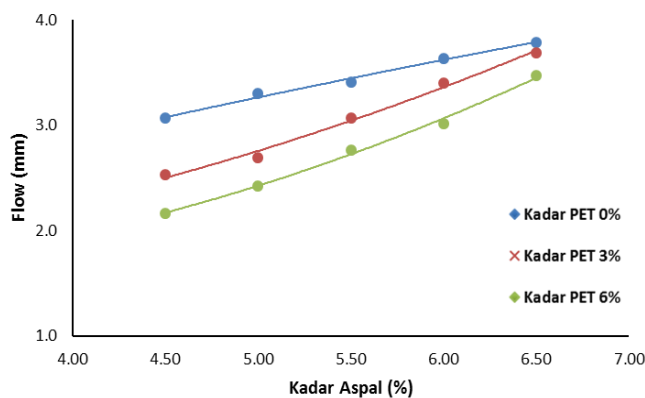
3.2 Karakteristik Campuran Aspal AC-BC

Karakteristik marshall dibutuhkan untuk menjelaskan karakteristik dari campuran aspal beton menggunakan PET dalam menentukan nilai stabilitas dan flow.



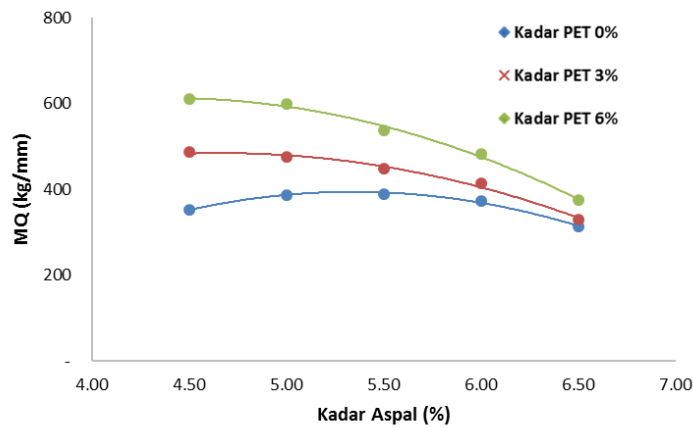
Gambar 2 Hubungan kadar aspal dengan nilai stabilitas

Gambar 2 menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan serat PET, nilai stabilitas marshall meningkat hingga 7% pada kadar aspal 5,5%. Peningkatan persentase serat PET pada campuran aspal menjadikan nilai stabilitas meningkat pula. Kadar aspal yang memberikan nilai stabilitas optimum tetap pada kadar aspal 5,5% walau demikian jumlah kadar aspal yang semakin besar memperlihatkan kecenderungan nilai stabilitas mendekati campuran aspal tanpa PET.



Gambar 3 Hubungan kadar aspal dengan nilai flow

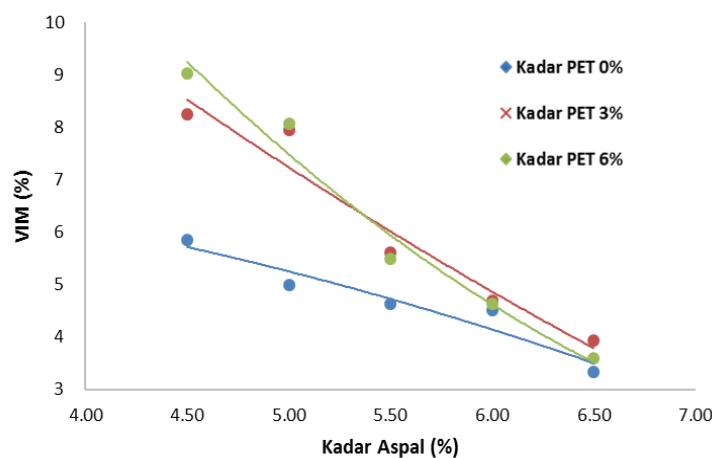
Gambar 3 menunjukkan nilai flow campuran tanpa PET lebih tinggi, namun kemiring kurvanya lebih landai seiring dengan meningkatnya kadar aspal. Pada campuran AC-BC baik penambahan PET 0.3% maupun 0.6% terlihat kemiringan kurva terjal.



Gambar 4 Hubungan kadar aspal dengan MQ

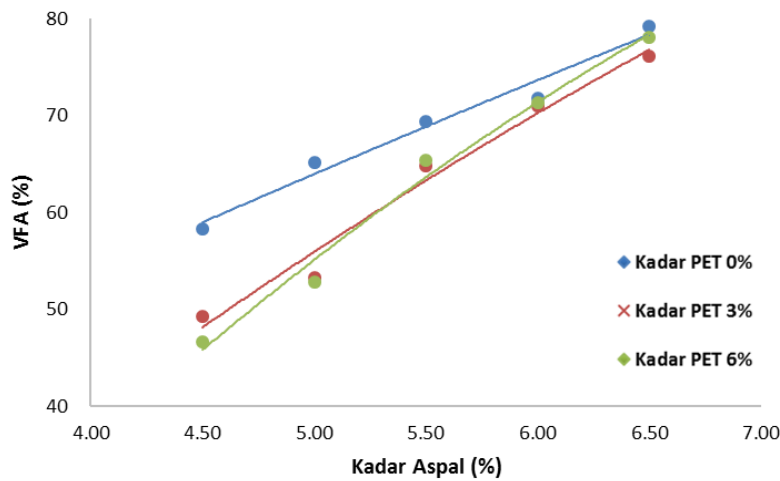
Gambar 4 menunjukkan hubungan antara nilai MQ dengan kadar aspal, semakin tinggi kadar aspal cenderung nilai MQ campuran aspal menurun. MQ campuran aspal dengan penambahan PET lebih tinggi bila dibandingkan dengan campuran yang normal, Penambahan PET telah berdampak pada meningkatnya kekakuan dari campuran aspal hal ini diakibatkan lembaran PET berfungsi sebagai tulangan yang menambah kekakuan pada campuran aspal.

Gambar 5 menunjukkan nilai VIM yang cenderung mengalami peningkatan yang sangat tinggi dengan adanya penambahan PET, nilai vim sangat sensitive terpengaruh dengan adanya penambahan PET. Penambahan PET telah meningkatkan VIM melebihi dari yang disyaratkan, namun nilai VIM cenderung turun seiring dengan meningkatnya kadar aspal dalam campuran aspal. Untuk mempertahankan nilai VIM dalam campuran aspal diperlukan peningkatan kadar aspal dalam campuran aspal. Nilai Vim dalam campuran tetap harus dikontrol karena menyangkut fleksibilitas dari, nilai VIM yang terlalu kecil mendorong campuran menjadi lebih kaku seperti superpave, namun nilai VIM yang terlalu besar akan menjadikan campuran aspal bersifat porous atau campuran aspal kurang rapat yang memudahkan air dan udara untuk masuk mengisi rongga-rongga yang berdampak pada teroksidasinya aspal sehingga lekatan aspal berkurang.

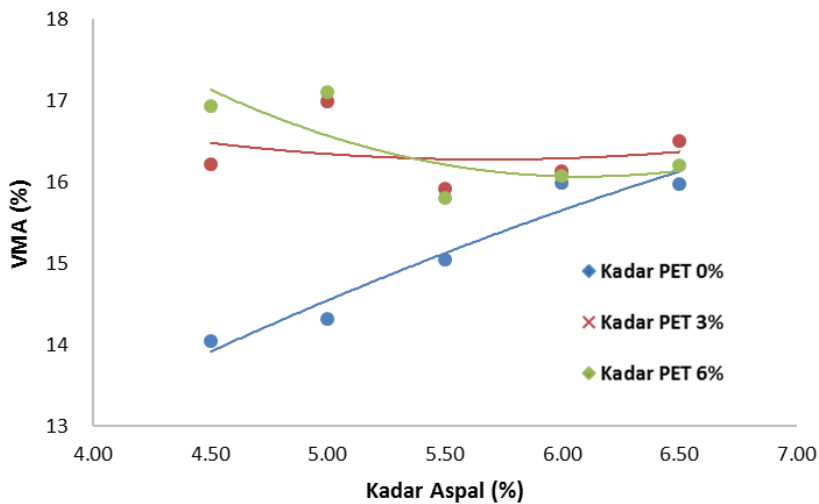


Gambar 5 Hubungan kadar aspal dengan VIM

Gambar 6 menunjukkan rongga antar mineral agregat, cenderung meningkat dengan adanya penambahan lembaran PET. Nilai VFA sangat erat hubungannya dengan stabilitas dan durabilitas. Nilai VFA pada campuran AC BC menggunakan serat PET meningkat seiring dengan peningkatan kadar aspal, pada kadar aspal 6% nilai VFA telah lebih besar dari 65%, hal ini mengindikasikan bahwa keberadaan serat PET dengan proporsi tertentu dan kadar aspal yang sesuai tidak akan menurunkan nilai VFA dibawah spesifikasi nasional yang telah ditetapkan.



Gambar 6 Hubungan kadar aspal dengan VFA



Gambar 7 Hubungan kadar aspal dengan VMA

Gambar 7 menunjukkan rongga campuran yang terisi aspal akibat adanya penambahan serat PET lebih tinggi bila disbanding dengan campuran tanpa serat PET, ini mengindikasikan bahwa penambahan serat PET dapat menghindarkan campuran aspal dari masalah durabilitas. Tingginya nilai VMA dapat menjadikan campuran aspal akan lebih tahan terhadap air yang menjadi musuh utama bagi perkerasan fleksibel.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis karakteristik marshall pada campuran AC-BC menggunakan PET dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengaruh penambahan limbah plastik jenis PET dengan kadar 0.3% dan 0.6% dalam bentuk serat pada campuran aspal beton binder course, secara umum memberikan dampak pada meningkatnya nilai stabilitas marshall dan nilai VIM namun menurunkan nilai flow. Hal ini berdampak pada meningkat nilai kekakuan atau MQ
2. Pengaruh positif akibat adanya PET dalam campuran AC_BC dihasilkan pada kadar aspal optimum (KAO) dengan kadar aspal 6%, kadar PET sebesar 0.6%, nilai stabilitas 1457.38 kg atau meningkat 7.3% dibanding campuran tanpa PET, begitupun nilai VIM meningkat dari 4.52% menjadi 4.68%. setara 2.3%, nilai flow turun sebesar 17% terhadap campuran tanpa PET
3. Kekakuan campuran aspal pada KAO meningkat secara signifikan sebesar 29.4%, hal ini mengindikasikan bahwa serat PET berfungsi sebagai tulangan bersama dengan agregat kasar sehingga meningkatkan stabilitas aspal campuran.

4.2 Saran

Temperatur perlu dijaga agar tetap konstan selama masa pencampuran aspal, suhu pencampuran disarankan agar tidak melebihi 170°C karena dapat melelehkan PET dengan cepat dan menyulitkan dalam proses pencampuran.

Ucapan Terima Kasih

Kami ucapkan terima kasih kepada Universitas Khairun yang telah memberikan hibah PKUPT Pascasarjana sehingga penelitian ini dapat terlaksana. Begitu pula kepada mahasiswa yang tergabung dalam tim laboratorium riset eco-material sehingga selesainya tahapan pertama dari riset ini.

Daftar Kepustakaan

- Afriyanto, B., Indriyati, E. W. and Hardini, P. (2019) 'Pengaruh Limbah Plastik Low Density Polyethylene Terhadap Karakteristik Dasar Aspal', *Jurnal Transportasi*, 19(1), pp. 59–66. doi: 10.26593/jt.v19i1.3263.59-66.
- Burhanuddin, B., Basuki, B. and Darmanijati, M. (2020) 'Pemanfaatan Limbah Plastik Bekas Untuk Bahan Utama Pembuatan Paving Block', *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 18(1), pp. 1–7. doi: 10.37412/jrl.v18i1.20.
- Fitri, S., Saleh, S. M. and Isya, M. (2018) 'Pengaruh Penambahan Limbah Plastik Kresek Sebagai Substitusi Aspal Pen 60/70 Terhadap Karakteristik Campuran Laston Ac – Bc', *Jurnal Teknik Sipil*, 1(3), pp. 737–748. doi: 10.24815/jts.v1i3.10034.
- Gaus, A. *et al.* (2014) 'Studi Karakteristik Marshall Campuran Aspal Concrete Bearing Coarse (AC BC) Yang Menggunakan Buton Granular Asphalt (BGA)', in *The 17th FSTPT International Symposium*, pp. 958–964.

- Handayasari, I. (2017) 'Studi Alternatif Bahan Konstruksi Ramah Lingkungan Dengan Pemanfaatan Limbah Plastik Kemasan Air Mineral Pada Campuran Beton', *Jurnal Poli-Teknologi*, 16(1), pp. 1–6. doi: 10.32722/pt.vol16.no.1.2017.pp.
- Mashuri dan Joi Fredy Batti (2011) 'Pemanfaatan Material Limbah Pada Campuran Beton Aspal Campuran Panas', *Mektek*, 8(3), pp. 204–212.
- Rahmawati, A. (2015) 'Pengaruh Penggunaan Plastik Polyethylene (Pe) Dan High Density Polyethylene (Hdpe) Pada Campuran Lataston-Wc Terhadap Karakteristik Marshall', *Jurnal Ilmiah Semesta Teknik*, 18(2), pp. 147–159.
- Razak, B. A. and Erdiansa, A. (2016) 'Karakteristik Campuran AC-WC dengan Penambahan Limbah Plastik Low Density Polyethylene (LDPE)', *INTEK: Jurnal Penelitian*, 3(1), p. 8. doi: 10.31963/intek.v3i1.9.
- Rommel, E. (2015) 'Pembuatan Beton Ringan Dari Agregat Buatan Berbahan Plastik', *Jurnal Gamma*, 9(1), pp. 137–147.
- Sumiati, S., Mahmuda, M. and Syapawi, A. (2019) 'Perkerasan Aspal Beton (Ac-Bc) Limbah Plastik Hdpe Yang Tahan Terhadap Cuaca Ekstrem', *Construction and Material Journal*, 1(1), pp. 1–11. doi: 10.32722/cmj.v1i1.1322.
- Wacaksono, M. A. and Arijanto, A. (2017) 'Pengolahan Sampah Plastik Jenis Pet(Polyethilene Perephthalathe) Menggunakan Metode Pirolisis Menjadi Bahan Bakar Alternatif', *Jurnal Teknik Mesin*, 5(1), pp. 9–15.
- Wantoro, W. *et al.* (2013) 'Pengaruh Penambahan Plastik Bekas Tipe Low Density Polyethylene (Ldpe) Terhadap Kinerja', *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 2(4), pp. 1–16. Available at: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jkts/article/view/3954>.
- Wijayanti, A. and Radam, I. F. (2021) 'Pengaruh Penambahan Limbah Plastik Terhadap Karakteristik Campuran Aapal AC-WC', *Jurnal Rivet*, 01(02), pp. 80–90.