

ANALISIS KEKUATAN ASPAL DENGAN PEMANFAATAN LIMBAH STYROFOAM PADA CAMPURAN ASPHALT CONCRETE-BINDER COURSE (AC-BC) TERHADAP PENGUJIAN MARSHALL

Rani Febriani¹⁾, Ade Nurdin²⁾ & Nurman Jamal³⁾

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

Email korespondensi : ranifebriani02811@gmail.com

ABSTRAK

Limbah *styrofoam* yang semakin bertambah dikalangan masyarakat yang akan mengganggu kondisi lingkungan masyarakat. Mengingat akan banyaknya limbah *styrofoam* yang dihasilkan dari pembelian makanan, perlu adanya usaha dan pemanfaatan dari limbah tersebut dengan cara memanfaatkan pada pembuatan aspal beton. Dalam hal ini *styrofoam* akan digunakan sebagai material pencampuran aspal. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh dan hasil kekuatan aspal dengan pemanfaatan limbah *styrofoam* pada campuran *asphalt concrete – binder course* (AC-BC) terhadap pengujian *marshall*. Penelitian ini dilakukan dengan pengujian di Laboratorium UPTD Alkal Provinsi Jambi. Variasi penambahan limbah *styrofoam* yang digunakan yaitu 16%, 17% dan 18% untuk dilakukan pengujian penetrasi, titik lembek, titik nyala dan titik bakar, daktilitas, berat jenis dan *marshall*. Pedoman pengujian dan analisis data yang digunakan yaitu spesifikasi umum Bina Marga 2018. Hasil pengujian sifat fisik aspal Pen 60/70 dengan penambahan limbah *styrofoam* yang didapatkan semakin banyak penambahan variasi limbah *styrofoam* nilai pengujian penetrasi mengalami penurunan, nilai titik lembek mengalami penurunan, nilai titik nyala dan titik bakar mengalami penurunan, nilai daktilitas mengalami penurunan, dan nilai berat jenis mengalami kenaikan. Hasil pengujian *marshall* nilai VMA mengalami peningkatan, nilai VIM mengalami peningkatan, nilai VFA mengalami penurunan, nilai stabilitas mengalami peningkatan, nilai kelelahan mengalami peningkatan dan nilai MQ mengalami peningkatan.

Kata kunci : *aspal, limbah styrofoam, marshall*

ABSTRACT

Styrofoam waste is increasing among the community which will disrupt the conditions in the community environment. Given the large amount of styrofoam waste generated from buying food, there is a need for business and utilization of this waste by utilizing it in the manufacture of asphalt concrete. In this case styrofoam will be used as asphalt mixing material. The purpose of this study was to determine the effect and results of asphalt strength by utilizing styrofoam waste in asphalt concrete – binder course (AC-BC) mixtures on Marshall testing. This research was carried out by testing at the UPTD Alkal Laboratory in Jambi Province. Variations in the addition of styrofoam waste used were 16%, 17% and 18% for testing penetration, softening point, flash point and firing point, ductility, specific gravity and marshall. The test guidelines and data analysis used are the general specifications of Bina Marga 2018. The results of testing the physical properties of asphalt Pen 60/70 with the addition of styrofoam waste obtained more and more variations of styrofoam waste, the penetration test value decreased, the softening point value decreased, the flash point value and the burning point has decreased, the value of ductility has decreased, and the value of specific gravity has increased. The marshall test results showed that the VMA value increased, the VIM value increased, the VFA value decreased, the stability value increased, the melting value increased and the MQ value increased.

Keywords : *asphalt, styrofoam waste, marshall*

1. PENDAHULUAN

Styrofoam saat ini telah diproduksi dalam berbagai bentuk dan ukuran sesuai dengan penggunaannya. *Styrofoam* menjadi bahan yang sangat populer di industri makanan yang dipilih untuk digunakan pada pengemasan makanan. Penggunaan *styrofoam* saat ini sangat mudah kita jumpai di lingkungan sekitar kita seperti saat kita membeli makanan di tempat makan yang mengusung konsep *take away* atau *delivery*.

Penggunaan *styrofoam* ini digunakan sebagai pengemasan pada makanan yang mampu menahan panas dan tahan air yang bertujuan agar tidak terjadi kebocoran pada makanan yang kita beli akan dibawa pulang atau diantarkan menuju alamat dimana tempat kita tinggal, setelah itu *styrofoam* menjadi tak bernilai dan bisa dikatakan sebagai limbah. Limbah merupakan sisa dari suatu usaha atau kegiatan.

Permasalahan yang dihadapi akibat penggunaan *styrofoam* adalah pada jumlah limbah yang dihasilkan. Timbulan rata-rata limbah per orang di Indonesia telah mencapai 1 kg/orang dengan proporsi *polistirena (styrofoam)* mencapai 10%, artinya setiap orang menyumbangkan 0,1 kg limbah *styrofoam* setiap hari. Jika jumlah penduduk Indonesia mencapai 237 juta jiwa, berarti terdapat 237.000 ton *styrofoam* yang berakhir di TPA dan tidak terolah setiap harinya. Tidak seperti limbah organik, *styrofoam* sulit terurai di alam dan membutuhkan waktu hingga 500 tahun untuk dapat terurai sempurna (Farah, 2019).

Limbah *styrofoam* yang semakin bertambah dikalangan masyarakat yang akan mengganggu kondisi lingkungan masyarakat karena limbah *styroam* tergolong pada limbah anorganik. Limbah anorganik adalah limbah yang tidak dapat membusuk dan terurai oleh tanah dan bakteri. Mengingat akan banyaknya limbah *styrofoam* yang dihasilkan dari pembelian makanan, perlu adanya usaha dan pemanfaatan dari limbah tersebut dengan cara memanfaatkan pada pembuatan aspal beton. Dalam hal ini *styrofoam* akan digunakan sebagai material pencampuran aspal. Penggunaan aspal modifikasi menggunakan bahan campuran *styrofoam* yang masih harus melewati beberapa tahapan pengujian dan evaluasi. Pengujian dan evaluasi bertujuan untuk mengetahui kekuatan dari aspal modifikasi apabila diterapkan sebagai material pembuatan jalan raya.

2. STUDI LITERATUR

2.1 Aspal

Pengujian yang dilakukan untuk menentukan sifat fisis dan kimiawi aspal antara lain pengujian penetrasi, pengujian titik lembek, pengujian titik nyala dan titik bakar, pengujian daktilitas, dan berat jenis.

1. Penetrasi (SNI 06-2456-2011)

Pengujian penetrasi ini bertujuan untuk mendapatkan angka penetrasi dari aspal keras yang diuji. Hasil uji penetrasi yang didapat harus sesuai SNI dengan rentang 60-70 mm.

2. Titik lembek (SNI 06-2434-2011)

Pengujian titik lembek ini bertujuan untuk menentukan titik lembek aspal dengan cara mengukur temperatur pada saat bola baja menyentuh dasar pelat yang ada pada cincin. Hasil uji titik lembek yang didapat harus sesuai SNI dengan nilai minimum 48°C.

3. Titik Nyala dan Titik Bakar (SNI 2433:2011)

Pengujian titik nyala dan titik bakar ini bertujuan untuk mengetahui suhu pada saat di peroleh nyala pertama. Hasil uji titik nyala harus sesuai SNI dengan nilai minimum 232°C.

4. Daktilitas (SNI 2432:2011)

Pengujian daktilitas ini bertujuan untuk mengetahui nilai keplastisan suatu aspal dengan mengukur jarak terpanjang yang dapat ditarik antara dua cetakan yang berisi bitumen keras pada suhu 25°C dengan kecepatan tarik 5 cm/dektik. Hasil uji daktilitas yang didapat harus sesuai SNI dengan nilai minimum 10 cm.

5. Berat jenis aspal (SNI 06-2441-2011)

Pengujian berat jenis aspal bertujuan untuk mengetahui apakah berat jenis aspal memenuhi syarat yang ditentukan untuk digunakan dalam analisa campuran. Hasil uji berat jenis yang didapat harus sesuai SNI dengan nilai minimum 1 gr/ml.

2.2 Agregat

Pengujian material agregat dalam campuran aspal beton sebagai berikut:

1. Analisis saringan agregat kasar dan agregat halus (SNI ASTM C136-2012)
2. Berat jenis agregat kasar (SNI 1969:2016)
3. Berat jenis agregat halus (SNI 1970:2016)

2.3 Pengujian Marshall

Serangkaian pengukuran kualitas campuran dengan menggunakan metode *marshall*, akan didapatkan beberapa data yang harus diolah terlebih dahulu menggunakan rumus-rumus empiris, agar didapatkan nilai akhir yang dapat digunakan sebagai parameter kualitas campuran aspal. Menurut Sukirman (2003), parameter kualitas campuran aspal beton beserta rumus-rumus empiris yang digunakan untuk mengolah data meliputi:

1. Berat jenis *bulk* dari total agregat

$$G_{sb \text{ total}} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{sb1}} + \frac{P_2}{G_{sb2}} + \frac{P_3}{G_{sb3}} + \dots + \frac{P_n}{G_{sbn}}} \quad (1)$$

Dengan:

$G_{sb \text{ total}}$ = Berat jenis *bulk* agregat gabungan (gr/cc)

P_n = Persentase berat masing-masing agregat (%)

G_{sbn} = Berat jenis *bulk* masing-masing agregat (gr/cc)

2. Berat jenis semu dari total agregat

$$G_{sa \text{ total}} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{sa1}} + \frac{P_2}{G_{sa2}} + \frac{P_3}{G_{sa3}} + \dots + \frac{P_n}{G_{san}}} \quad (2)$$

Dengan:

$G_{sa \text{ total}}$ = Berat jenis semu agregat gabungan (gr/cc)

P_n = Persentase berat masing-masing agregat (%)

G_{san} = Berat jenis semu masing-masing agregat (gr/cc)

3. Berat jenis efektif agregat

$$G_{se} = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2} \quad (3)$$

Dengan:

G_{se} = Berat jenis efektif total agregat (gr/cc)

G_{sb} = Berat jenis *bulk* agregat (gr/cc)

G_{sa} = Berat jenis semu agregat (gr/cc)

4. Berat jenis campuran

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}} \quad (4)$$

Dengan:

G_{mm} = Berat jenis maksimum campuran (gr/cc)

P_{mm} = Persentase berat total campuran (100%)

P_s = Persentase kadar agregat terhadap berat total campuran (%)

P_b = Persentase kadar aspal terhadap berat total campuran (%)

G_{se} = Berat jenis efektif (gr/cc)

G_b = Berat jenis aspal (gr/cc)

5. Berat jenis *bulk* campuran

$$G_{mb} = \frac{W_a}{V_{bulk}} \quad (5)$$

Dengan:

 G_{mb} = Berat jenis campuran setelah dipadatkan (gr/cc) V_{bulk} = Volume campuran setelah dipadatkan (cc) W_a = Berat di udara (gr)

6. Kepadatan

$$G_{mb} = \frac{W_m}{W_{mssd} - W_{mpw}} \quad (6)$$

Dengan:

 W_m = Berat benda uji setelah dipadatkan (gr) W_{mssd} = Berat benda uji keadaan jenuh setelah dipadatkan (gr) W_{mpw} = Berat benda uji dalam air setelah dipadatkan (gr)7. VIM (*Void In Mix*)

$$VIM = \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \times 100 \quad (7)$$

Dengan:

 VIM = Rongga udara pada campuran (%) G_{mm} = Berat jenis campuran maksimum setelah pemadatan (gr/cc) G_{mb} = Berat jenis bulk campuran setelah pemadatan (gr/cc)8. VMA (*Void Material Agregat*)

$$VMA = \frac{100 (G_{sb} + G_{sa}) + G_{mb} \times P_s}{G_{sab}} \quad (8)$$

Dengan:

 VMA = Rongga udara pada mineral agregat (%) G_{mb} = Berat jenis bulk campuran setelah pemadatan (gr/cc) G_{sb} = Berat jenis bulk dari total agregat (gr/cc) P_s = Persentase kadar agregat terhadap berat total campuran (%)9. VFA (*Void Filled with Aspal*)

$$VFA = \frac{(VMA - VIM)}{VMA} \times 100 \quad (9)$$

Dengan:

 VFA = Persentase rongga udara yang terisi aspal (%) VMA = Persentase rongga udara pada mineral agregat (%) VIM = Persentase rongga udara pada campuran (%)

10. Stabilitas

$$S = P \times q \quad (10)$$

Dengan:

 S = angka stabilitas sesungguhnya (kg) P = pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat q = angka koreksi benda uji11. Kelelehan plastis (*Flow*)

Flow merupakan perubahan bentuk campuran akibat suatu pembebanan yang terjadi hingga keruntuhan yang dinyatakan dalam 1 mm atau 0.01 inch. Nilai *flow* digunakan sebagai indikator terhadap kelenturan. Dalam pengujian, nilai *flow* dapat dibaca pada arloji untuk nilai *flow* pada alat uji *marshall*, atau dapat diketahui dengan cara pengurangan diameter benda sebelum dan sesudah diuji.

12. *Marshall quotient*

$$MQ = \frac{S}{F} \quad (11)$$

Dengan:

 MQ = Nilai *marshall quotient* (kg/mm) S = Nilai stabilitas (kg) F = Nilai *flow* (mm)

3. METODOLOGI

Lokasi Penelitian

Tempat pada penelitian ini terdiri dari lokasi pengambilan sampel limbah *styrofoam* dan lokasi pengujian yang dijelaskan sebagai berikut:

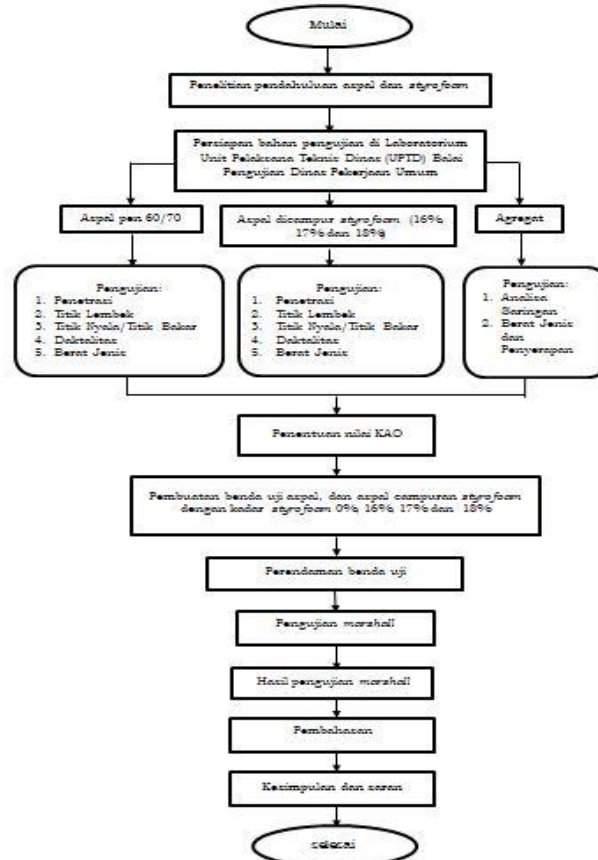
1. Lokasi pengambilan sampel limbah *styrofoam* diambil dari tempat pembuangan sampah sementara (TPS).
2. Lokasi pengujian ini akan dilaksanakan di Laboratorium Unit Pelaksana Teknis Dinas (UPTD) Balai Pengujian Dinas Pekerjaan Umum yang beralamat di Jl. RB. Siagian No.1, Pasir Putih, Kec. Jambi Sel., Kota Jambi, Jambi 36135.



Gambar 1. Lokasi pengambilan sampel limbah *styrofoam* dan lokasi pengujian

Langkah-Langkah Penelitian

Proses langkah penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:



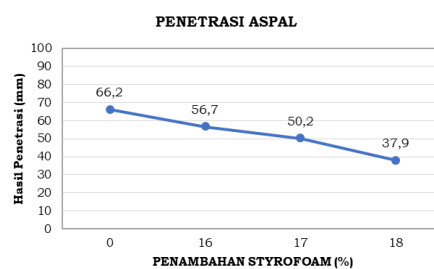
Gambar 2. Bagan alir penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Sifat Fisik Aspal Pen 60/70

1. Pengujian penetrasi aspal

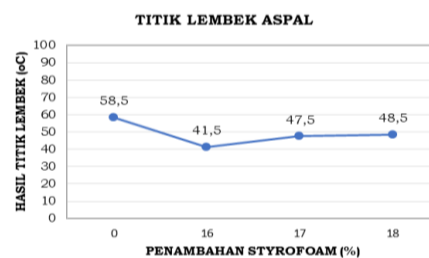
Semakin besar variasi *styrofoam* yang ditambahkan pada aspal akan membuat aspal semakin keras, sehingga angka penetrasi semakin menurun. Jika nilai penetrasi yang didapat rendah maka aspal akan menjadi keras dan semakin sulit dalam penanganannya karena diperlukan suhu yang lebih tinggi untuk aspal menjadi lunak atau cair, begitu pun sebaliknya jika nilai penetrasi yang didapat tinggi maka aspal akan menjadi lunak atau encer sehingga mudah untuk dikerjakan tetapi sulit untuk mencapai kestabilan campuran aspal terutama pada iklim panas di Indonesia dikarenakan aspal cenderung melunak pada suhu udara tinggi. Hal ini akan mempengaruhi dari kualitas campuran aspal.



Gambar 3. Hasil pengujian penetrasi aspal + *Styrofoam*

2. Pengujian titik lembek aspal

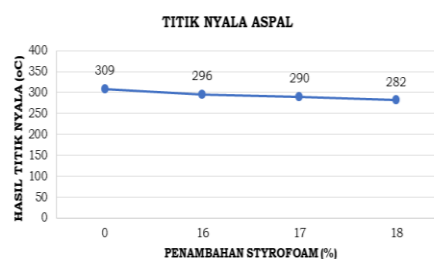
Semakin besar variasi *styrofoam* yang ditambahkan pada aspal akan membuat aspal membutuhkan suhu yang lebih tinggi untuk mencapai kelembekkan sehingga pada saat pengujian suhu titik lembek aspal dengan limbah *styrofoam* mengalami kenaikan, jika dibandingkan dengan pengujian suhu titik lembek aspal normal dan titik lembek aspal dengan limbah *styrofoam* mengalami penurunan.

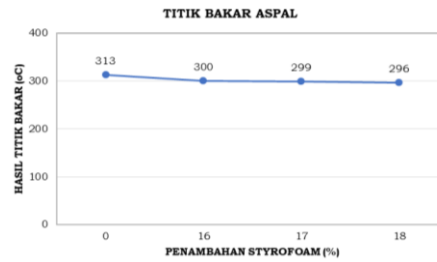


Gambar 4. Hasil pengujian titik lembek aspal + *Styrofoam*

3. Pengujian titik nyala dan titik bakar aspal

Semakin besar variasi *styrofoam* yang ditambahkan pada aspal akan membuat aspal semakin cepat terbakar, sehingga nilai titik nyala dan bakar menjadi menurun.

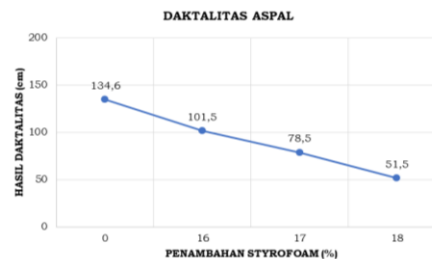




Gambar 5. Hasil pengujian titik nyala dan titik bakar aspal + Styrofoam

4. Pengujian daktilitas aspal

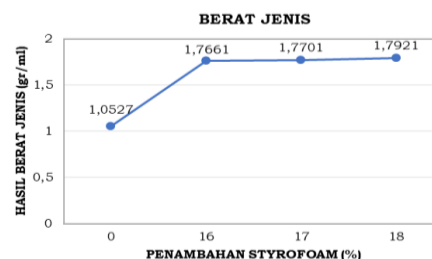
Semakin besar variasi *styrofoam* yang ditambahkan pada aspal akan membuat nilai daktilitasnya menjadi menurun. Jika nilai daktilitas rendah maka keelastisan aspal berkurang dimana akan berpengaruh pada pengikatan agregat pada campuran aspal panas, begitupun sebaliknya jika nilai daktilitas tinggi maka tingkat keelastisan aspal baik dan mampu mengikat agregat dengan baik.



Gambar 6. Hasil pengujian daktilitas aspal + Styrofoam

5. Pengujian berat jenis aspal

semakin besar variasi *styrofoam* yang ditambahkan pada aspal akan membuat berat jenis akan semakin bertambah.

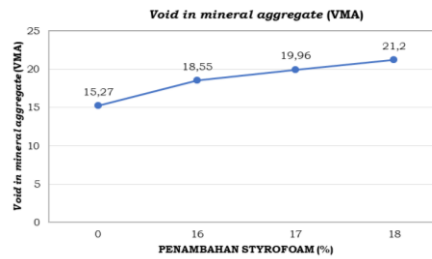


Gambar 7. Hasil pengujian berat jenis aspal + styrofoam

Pengujian Marshall

1. Nilai void in mineral aggregate (VMA)

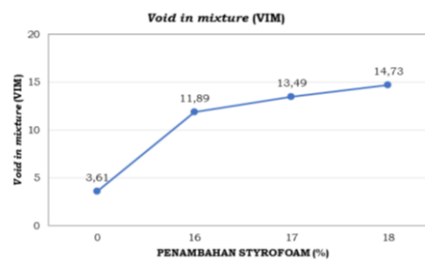
Nilai VMA pada pengujian untuk semua variasi 0%, 16%, 17% dan 18% memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 yakni min. 14%. Nilai VMA yang mempunyai nilai $\leq 14\%$ semakin sedikit jumlah aspal yang mengisi rongga. Nilai VMA yang mempunyai nilai $\geq 14\%$ banyak rongga terisi oleh agregat. Nilai VMA yang mengalami peningkatan dengan bertambahnya variasi penambahan limbah *styrofoam* disebabkan aspal yang menyelimuti agregat bertambah tebal seiring dengan bertambahnya variasi penambahan limbah *styrofoam* sehingga jarak antar rongga menjadi lebih besar.



Gambar 8. Hasil pengujian VMA aspal + Styrofoam

2. Nilai void in mixture (VIM)

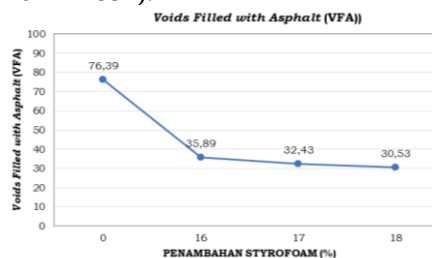
Nilai VIM pada pengujian untuk aspal normal 0% memenuhi, untuk semua variasi penambahan limbah styrofoam dengan variasi 16%, 17% dan 18% yang digunakan belummenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 yakni 3-5%. Nilai VIM yang mempunyai nilai $\leq 3\%$ akan memperbesar terjadinya keretakan dan nilai VIM yang mempunyai nilai $\geq 5\%$ menunjukkan banyak terdapat rongga air dalam campuran, sehingga campuran tidak rapat dan tidak kedap udara maupun air.



Gambar 9. Hasil pengujian VIM aspal + Styrofoam

3. Nilai voids filled with asphalt (VFA)

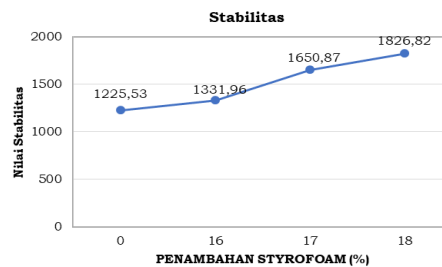
Nilai VFA pada pengujian untuk aspal normal 0% memenuhi, untuk semua variasi penambahan limbah styrofoam dengan variasi 16%, 17% dan 18% yang digunakan belum memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 yakni min. 65%. Nilai VFA yang mempunyai nilai $\leq 65\%$ menyatakan persentase rongga yang terisi aspal sedikit yang mengakibatkan aspal yang menyelimuti agregat semakin kecil. Penurunan VFA diakibatkan oleh meningkatnya nilai VMA, jika nilai atar rongga agregat (VMA) semakin besar, persentase rongga yang terisi aspal (aspal yang menyelimuti agregat semakin kecil).



Gambar 10. Hasil pengujian VFA aspal + Styrofoam

4. Nilai stabilitas

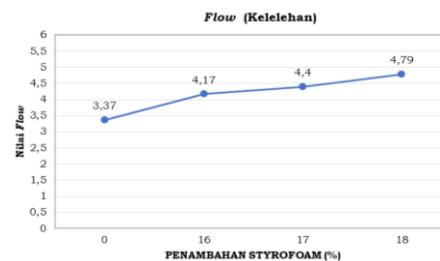
Nilai stabilitas untuk semua variasi 0%, 16%, 17% dan 18% yang digunakan telah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 yakni Min. 800 kg, jika dibandingkan dengan aspal normal setiap penambahan limbah *styrofoam* dengan variasi 16%, 17% dan 18% memiliki hasil yang baik semakin besar penambahan variasi limbah *styrofoam* maka hasilnya juga semakin naik selain itu juga disebabkan oleh proses pemadatan, mutu agregat dan daya ikat kadar aspal. Uji stabilitas *marshall* ini berpengaruh pada saat proses pencampuran sampel dan jumlah tumbukkan.



Gambar 11. Hasil pengujian stabilitas aspal + *Styrofoam*

4. Nilai flow

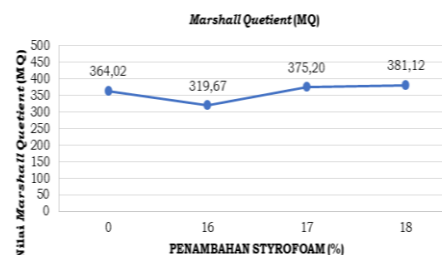
Nilai *flow* pada pengujian untuk aspal normal 0% memenuhi, untuk semua variasi penambahan limbah *styrofoam* dengan variasi 16%, 17% dan 18% yang digunakan belum memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 yakni Min. 2-4 mm. Nilai *flow* yang mempunyai nilai ≤ 2 mm terjadinya cenderung menjadi terlalu kaku dan getas. Nilai *flow* yang mempunyai nilai ≥ 4 mm cenderung plastis dan mudah berubah bentuk jika mendapatkan beban lalu lintas. Semakin banyak penambahan limbah *styrofoam* pada aspal akan menaikkan nilai *flow*.



Gambar 11. Hasil pengujian *flow* aspal + *Styrofoam*

4. Nilai marshall quotient

Nilai MQ untuk semua variasi 0%, 16%, 17% dan 18% memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 yakni Min. 250 kg/mm. Nilai *marshall quotient* mengalami kenaikan setiap penambahan variasi limbah *styrofoam*. Semakin besar nilai *marshall quotient* menyebabkan campuran menjadi semakin kaku, sebaliknya jika nilai *marshall quotient* semakin kecil maka akan menyebabkan campuran aspal semakin lentur.



Gambar 12. Hasil pengujian MQ aspal + *Styrofoam*

Analisis Campuran Aspal dengan Limbah Styrofoam

Hubungan antara penetrasi, titik lembek, titik nyala dan titik bakar, berat jenis dan daktilitas saling berkaitan antar satu pengujian dengan pengujian yang lain yaitu jika semakin rendah nilai penetrasi yang di dapat maka tingkat kepekaan aspal terhadap perubahan temperatur rendah, yang berarti semakin baik ketahanan aspal tersebut terhadap perubahan temperatur. Semakin rendah nilai penetrasi juga maka nilai kekakuan akan semakin tinggi. Berdasarkan hasil juga dengan menambahkan limbah *styrofoam* menurunkan nilai penetrasi, titik nyala, titik bakar, daktilitas tetapi menaikkan nilai titik lembek dan berat jenis aspalnya. Dimana jika nilai berat jenis tinggi menyebabkan aspal keras dan kaku, penetrasi turun menyebabkan juga aspal keras dan kaku, titik nyala dan titik bakar rendah menyebabkan aspal cepat terbakar dan daktilitas rendah menyebabkan aspal kurang mampu mengikat dan titik lembek dengan suhu rendah menyebabkan aspal mudah mencair.

Nilai penetrasi pada campuran belum memenuhi aspal dengan penetrasi 60/70 jika dilihat dari hasil pengujian penetrasi hasilnya masuk dalam klasifikasi aspal penetrasi 40/50. Campuran aspal yang mempunyai nilai penetrasi rendah cocok diaplikasikan pada jalan yang wilayahnya belum berkembang, jalan masih sepi lalu lintas beban sumbu kendaraan belum berat dan panjang jalan masih sedikit jenis jalannya masuk kedalam jenis perkerasan jalan lingkungan contohnya pada jalan perumahan.

Dari hasil pengujian dan kesimpulan diatas maka untuk campuran aspal dengan penambahan limbah *styrofoam*, dapat digunakan sebagai perkerasan jalan, hanya karena kandungan aspal dan banyaknya rongga, campuran ini sebaiknya digunakan pada arus lalu lintas rendah atau beban ringan dan cocok untuk perkerasan jalan lingkungan dalam perumahan.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Pengaruh pemanfaatan limbah *styrofoam* pada campuran *asphalt concrete-binder course* (AC-BC) pengujian sifat fisik aspal dengan pemanfaatan limbah *styrofoam* didapatkan hasil untuk pengujian penetrasi untuk semua variasi penambahan *styrofoam* belum memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018, pengujian titik lembek untuk semua variasi penambahan *styrofoam* hanya variasi 18% yang memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018, pengujian titik nyala dan titik bakar untuk semua variasi penambahan *styrofoam* memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018, pengujian daktilitas untuk semua variasi penambahan *styrofoam* hanya variasi 16% yang memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 dan pengujian berat jenis untuk semua variasi penambahan *styrofoam* memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018.

Pengujian *marshall* aspal dengan pemanfaatan limbah *styrofoam* didapatkan nilai VMA untuk semua variasi penambahan *styrofoam* telah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018, nilai VIM hanya aspal normal yang memenuhi spesifikasi untuk semua variasi penambahan *styrofoam* belum memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018, nilai VFA hanya aspal normal yang memenuhi spesifikasi untuk semua variasi penambahan *styrofoam* belum memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018, nilai stabilitas untuk semua variasi penambahan *styrofoam* telah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018, nilai *flow* hanya aspal normal yang memenuhi spesifikasi untuk semua variasi penambahan *Styrofoam* belum memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 dan nilai *marshall quotient* untuk semua variasi penambahan *styrofoam* telah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018.

Hasil kekuatan aspal dilihat dari nilai *marshall quotient* dimana nilai MQ merupakan nilai yang menyatakan kekakuan campuran aspal terhadap tekanan yang diterima dengan penambahan limbah *styrofoam* telah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018. Semakin besar penambahan limbah *styrofoam* nilai *marshall quotient* aspal mengalami peningkatan.

Bagi penelitian aspal dengan penambahan limbah *styrofoam* selanjutnya disarankan meningkatkan cakupan penelitian pada jenis aspal yang lain (aspal penetrasi 40/50) dan penelitian aspal dengan penambahan limbah *styrofoam* selanjutnya disarankan untuk membandingkan rencana anggaran biaya (RAB) aspal normal dan aspal dengan penambahan limbah *styrofoam*.

PENGHARGAAN

Kami berterimakasih kepada Dinas Pekerjaan Umum Balai Pengujian Unit Pelaksana Teknis Dinas (UPTD) Provinsi Jambi, yang telah memfasilitasi pengumpulan data.

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO M 20 – 70. 1990 dan Revisi SNI 03-1737-1989. *Spesifikasi AASHTO dan SNI untuk berbagai nilai penetrasi aspal*.
- Badan Standardisasi Nasional. 2016. *SNI 1970 : 2016, Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*. Jakarta : Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). 2011. *Metode Pengujian Titik Nyala dan Titik Aspal dengan Alat Cleveland Open Cup*. SNI 06-2433-2011. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 1991. *Metode Pengujian Campuran Aspal Dengan Alat Marshall (SNI 06-2489:1991)*. Jakarta: Standar Nasional Indonesia.
- Badan Standart Nasional. 1990. *SNI 03-1968-1990 Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standart Nasional. 2016. *SNI 1970:2016 Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Bina Marga. 2010. *Spesifikasi Umum*. Semarang: Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga.
- Bina Marga. 2018. *Spesifikasi Umum (2018)*. Direktorat Jendral Bina Marga. Departemen Pekerjaan Umum.
- BPOM, 2008. *Informatorium Obat Nasional Indonesia, Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia*. Jakarta.
- BSN. 2012. *SNI ASTM C136:2012. Metode Uji Analisis Saringan Agregat Halus dan Agregat Kasar (ASTM C 136-06, IDT)*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Desi, N.S, Alpius, dan Elizabeth. 2021. *Pengaruh Styrofoam Sebagai Bahan Tambah Campuran AC-BC Batu Sungai Tetean Kabupaten Mamasa*. Jurnal Teknik Sipil : UKI Paulus-Makassar Volume 4 Issue 2.
- Direktorat Jendral Bina Marga. 1987. *Petunjuk Pelaksanaan Lapis Tipis Beton Aspal (Lataston) untuk Jalan dan Jembatan*. Pedoman Teknik No. 13/PT/B/1987. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Elsa, E. P. Hermistanora, dan Bayu, M. A. 2020. *Studi Penggunaan Styrofoam Pada Perkerasan Aspal Porus*. Jurnal Ruang Teknik Sipil : Vol. 3 No.2 Juni 2020.
- Farah, H. dan Nurlailatush, S. 2019. *Pirolisis Limbah Styrofoam Menjadi Bensin Dengan Katalis Ni/ γ -Al₂O₃* Bandung : Politeknik Negeri Bandung
- Febrina, D. K., Ruslaini, & Herri, M. 2021. *Pemanfaatan Limbah Styrofoam Untuk Substitusi Aspal Pen 60/70 Pada Laston*. Serambi Engineering : Volume VII, No. 1, Januari 2022.
- Handayani, N.P. 2013. *Pembuatan dan Karakterisasi Plastik Ramah Lingkungan dari Pati Tapioka-Poli Asam Laktat (PLA)*. Lampung: Universitas Lampung.

- Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 1999. *Materi Pembekalan Sertifikasi Tenaga Inti Konsultan Supervisi*. Modul – VI.
- Mashuri, & Joy, F. B. 2011. *Pemanfaatan Material Limbah Pada Campuran Beton Aspal*. Majalah Ilmiah : Mektek Tahun XIII No. 3.
- Naufal, R. 2021. *Pengaruh Subtituai Styrofoam Pada Campuran Asphal Concrete – Binder Course (AC-BC) Dengan Pengujian Marshall*. Sumatra Utara: Universitas Muhammdiyah.
- Nelmayanti, S., Rais, R. dan Alpius. 2021. *Pemanfaatan Limbah Styrofoam Sebagai Bahan Tambah Campuran AC-BC Yang Menggunakan Sungai Bittuang*. Jurnal Teknik Sipil : UKI Paulus-Makassar Volume 3 Issue 3.
- Nurhayati. 2016. *Prarancangan Pabrik Polistirena dengan Proses Polimerisasi Larutan Kapasitas 75.000 Ton/Tahun*. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia. 2006. *PP No. 34 Tahun 2006 Tentang Jalan*, Jakarta.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia. 2009. *Undang-Undang No.22 tahun 2009, Tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan*. Jakarta: Pemerintah Republik Indonesia.
- Rachmawati, Q. dan Herumurti,W. 2015. *Pengolahan Sampah secara Pirolisis dengan Variasi Rasio Komposisi Sampah dan Jenis Plastik*. Jurnal Teknik.
- Rani, F. 2021. *Laporan Praktikum Jalan Raya*. Jambi: Program Studi Teknik Sipil Universitas Jambi.
- Rizka, A, dan Sri, R.J. 2013. *Pembuatan Stirena Dari Limbah Plastik Dengan Metode Priolisis*. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya. Vol.2 (1) : 2337- 3539.
- Saleem, S. et al., 2017. *Comparison of Thermal Decomposition of Polystyrene Product vs Bio-Based Polymer Aerogels*. Ohio Jurnal of Science 117 (2): 50-60.
- Saodang, H., 2005. *Konstruksi Jalan Raya*, Bandung: Nova.
- SNI 2432:2011. 2011. *Cara Uji Daktilitas Aspal*. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 2434:2011. 2011. *Cara Uji Titik Lembek Aspal dengan Alat Cincin dan Bola (ring and ball)*. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 2441:2011. 2011. *Cara Uji Berat Jenis Aspal Keras*. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 2456:2011. 2011. *Cara Uji Penetrasi Aspal*. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI M 02-1994. 2003. *Analisis saringan dapat dilakukan secara basah atau kering, analisis basah digunakan untuk menentukan Jumlah bahan agregat yang lolos saringan No.200*. Badan Standarisasi Nasional.
- Sukirman, S. 1999. *Dasar-dasar Perencanaan Geometrik Jalan*. Bandung: Nova.
- Sukirman, S. 2003. *Beton Aspal Campuran Panas*. Grafika Yuana Marga : Bandung.
- Sukirman, S. 2010. *Beton Aspal Campuran Panas*. Jakarta.
- Sukirman, S., 1992, *Perkerasan Lentur Jalan Raya*, Penerbit Nova. Bandung.
- Taufan, G. N. 2017. *Analisis Pemanfaatan Limbah Styrofoam Sebagai Bahan Substitusi Ke Dalam Aspal Penetrasi 60/70 Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Porus*. Jurnal Ilmiah: Rekayasa Teknik Sipil Vol. 01 Nomor 01/rekat/17 (2017), 65 - 70.
- Yetty, R. S., dan Andrean, J. S. 2011. *Analisis Lapisan Aspal Beton (AC-BC) dengan Penambahan* . Serambi Engineering : Volume VII, No. 1, Januari 2022.