

PEMANFAATAN LIMBAH PLASTIK SEBAGAI BAHAN TAMBAH PADA BETON ASPAL CAMPURAN PANAS

Anni Susilowati ¹⁾, Eko Wiyono ¹⁾, Pratikto ¹⁾

¹⁾ Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Jakarta
Jl. Jl. Prof. Dr. G.A. Siwabessy Kampus Baru UI Depok, 16424
Email: anni.susilowati@sipil.pnj.ac.id

ABSTRAK

Daur ulang plastik dapat digunakan sebagai campuran beton aspal dan sudah dikembangkan di beberapa daerah, memiliki beberapa kelebihan, yaitu tingkat perkerasan yang lebih baik, tidak mudah meninggalkan jejak roda kendaraan saat aspal basah, dan daya tahannya juga semakin meningkat. Tujuan penelitian untuk menentukan nilai propertis Marshall dan menentukan limbah plastik yang optimum pada beton aspal campuran panas yang memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018. Metode penelitian yang digunakan dengan metode eksperimen di laboratorium. Benda uji dibuat mengacu pada SNI 06-2489-1991. Sebagai variabel bebas Kadar Aspal Optimum dengan variasi limbah plastik 0, 5, 10, 15, 20, 25 % dari berat aspal. Adapun Variabel terikat meliputi persen rongga dalam agregat, persen rongga dalam campuran, persen rongga terisi aspal, stabilitas, kelelahan, dan hasil bagi Marshall quotient. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan limbah plastik dapat menaikkan nilai VFB, Stabilitas, kelelahan dan MQ serta menurunkan nilai VMA dan VIM. Kadar Limbah Plastik Optimum untuk campuran beton aspal bergradasi menrus sebesar 7,5%, dengan nilai VMA 16,44%; VFB 81,49%; VIM 3,07%; Satabilitas 1411,82kg; Kelelahan 3,83mm dan MQ 337,45kg/mm. beton aspal campuran panas sesuai dengan spesifikasi Bina Marga 2018 untuk lapis aus pada jalan dengan lalu lintas sedang hingga berat.

Kata kunci: Kelelahan, Limbah plastik, Rongga udara. Stabilitas.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Kerusakan jalan memang menjadi salah satu masalah di Indonesia yang seringkali terjadi terutama di jalan-jalan dengan volume lalu lintas yang padat, berupa retak leleh dan deformasi. Kerusakan jalan disebabkan karena berlebihnya volume kendaraan berat yang melewati sehingga beban kendaraan yang berat ini mengakibatkan di setiap lapisan perkerasan terjadi regangan dan tegangan. Untuk menaikkan mutu campuran beraspal, salah satunya dengan menambahkan plastik. Menurut Sumadilaga (2017), bahwa teknologi campuran beraspal dengan memanfaatkan limbah plastik merupakan campuran beraspal yang memiliki sifat tahan terhadap deformasi

dan lebih baik dalam ketahanan leleh (*fatigue*), kendaraan tidak mudah slip saat aspal dalam keadaan basah ataupun kering, deformasi atau alur meningkat, serta tidak mudah retak retak.

Menurut Sukirman (2016), Beton aspal dengan agregat bergradasi menerus disebut Laston yaitu yang fungsinya sebagai *Asphaltic Concrete – Wearing Course* (AC-WC), *Asphaltic Concrete – Binder Course* (AC-BC) dan *Asphaltic Concrete – Base* (AC-Base). Gradasi agregat menentukan besarnya rongga yang mungkin terjadi dalam agregat campuran. Karena butiran agregat terdistribusi merata atau bergradasi agregat menerus, maka rongga yg terjadi lebih sedikit.

Menurut Admin DLH (2018), limbah plastik menjadi salah satu

masalah lingkungan karena membutuhkan waktu yang lama untuk dapat terurai secara alami. Salah satu penanganan limbah plastik dengan cara membakarnya atau dapat juga mendaur ulang limbah plastik (*recycle*), memakai daur ulang plastik (*reuse*), dan mengurangi pemakaian plastik (*reduce*), Daur ulang plastik dapat digunakan sebagai bahan campuran beton aspal.

Menurut Sumadilaga (2017), Beton aspal plastik sudah dikembangkan diberbagai daerah seperti di Bekasi dan Bali. Beberapa kelebihan beton aspal dengan penambahan plastik, yaitu tingkat perkerasan yang lebih baik, sulit meninggalkan jejak roda kendaraan saat aspal basah dilalui kendaraan, dan dapat meningkatkan daya tahannya. Adapun hasil penelitian Wiyono, dkk (2020), Penambahan limbah plastik sampai kadar limbah plastik 25% dalam campuran aspal porus dapat meningkatkan nilai stabilitas, *flow*, dan *Marshall quotient*. Beton aspal tanpa pasir dengan penambahan limbah plastik, memenuhi spesifikasi *Australian Asphalt Pavement Association* (2004) untuk lalu lintas sedang.

Menurut Rahmawati (2015), bahwa Efek penambahan HDPE pada pemberian campuran aspal nilai karakterisasi Marshall lebih baik daripada campuran aspal dengan PE, sedangkan menurut Aschuri (2016) Secara umum, serta kinerja beton aspal menggunakan limbah plastik sebagai bagian substitusi agregat lebih baik daripada substitusi campuran konvensional. Adapun menurut Luh et al (2019) Beton aspal menggunakan plastik 6% dan 4%, nilai stabilitasnya sebesar 2498,4kg. Semakin besar plastik yg dicampurkan ke dalam beton stabilitasnya semakin meningkat, sampai batas tertentu, menghemat kurang lebih 2,5 % aspal dengan kadar plastik 6%.

Menurut Sumadilaga (2017), Penambahan 6 persen limbah plastik terhadap berat aspal pada campuran akan meningkatkan stabilitas sebesar 40% dan lebih tahan terhadap deformasi serta retak leleh.

Adapun menurut Prasetyo (2018), bahwa Limbah plastik HDPE sebagai pengikat bitumen memberikan ketahanan yang lebih baik terhadap deformasi permanen karena stabilitas dan Marshall Quotient tinggi. Hasil penelitian Iskandar (2021), menunjukkan bahwa penambahan limbah botol plastik meningkatkan kinerja campuran beraspal jenis lapis permukaan aus. Dengan kadar aspal optimum yang meningkat, berbanding lurus dengan kinerja campuran beton aspal AC-WC. Penambahan limbah botol plastik dapat meningkatkan stabilitas, menurunkan VFB dan untuk nilai VMA, VIM, MQ, serta nilai *flow* yang cenderung stabil.

Kusdiyono et al (2019), Limbah plastik jenis *Thermosetting* yang digunakan pada beton aspal jenis Laston AC-WC cenderung meningkatkan Density, Stabilitas Marshall, Kelelahan (Flow), VIM, VMA, MQ dan Stabilitas Marshall sisa. Adapun untuk nilai VFA dan VIM *Refusal Density* cenderung mengalami penurunan. Karena sebagian besar parameter Marshall meningkat, Limbah plastik dari jenis *Thermosetting* dapat dipergunakan sebagai pengganti sebagian agregat untuk Aspal Beton lapis permukaan aus atau Laston AC-WC dengan kadar limbah plastik 5,5%. Menurut Prestilia (2018), Penambahan plastik HDPE untuk campuran AC-WC pada perendaman dengan suhu 60°C, 70°C dan 80°C selama 30 menit masing-masing sebesar 0- 1,5%; 0,1-1,5% dan 1-3%. Adapun pengujian Marshall campuran aspal modifikasi untuk penambahan plastik HDPE pada perendaman dengan suhu 60°C selama

24 jam yang dapat digunakan adalah sebesar 1,5-3%, memenuhi spesifikasi Bina Marga. Menurut Luh (2019), Penambahan limbah plastik LDPE berbentuk potongan kecil sebesar 1 sampai dengan 6%, membuat stabilitas naik hingga 66,70% dan menurunkan kadar aspal hingga 2,5% dibandingkan campuran aspal beton tanpa campuran limbah plastik.

Hendrastianto (2019), Sampah plastik dapat menjadi berguna kembali setelah didaur ulang. Adapun biji plastik pp disebut juga dengan (*polypropylene*), adalah biji plastik yang terbuat dari monomer propilena yang memiliki sifat kaku, tidak berbau, dan tahan terhadap bahan kimia pelarut, asam, dan basa. Proses daur ulang limbah plastik menjadi biji plastik (*pellet*).



Gambar 1. biji plastik

Menurut Sukirman (2016) Fungsi aspal dalam campuran perkerasan adalah sebagai pengikat yang bersifat viskoelastis, pelumas pada saat penghamparan di lapangan sehingga memudahkan untuk dipadatkan, dan juga sebagai pengisi rongga antara butir-butir agregat dan pori-pori yang ada dari agregat.

Tujuan penelitian untuk memanfaatkan limbah plastik, menentukan nilai parameter Marshall dan mendapatkan limbah plastik optimum pada campuran beton aspal yang memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018.

Persyaratan campuran aspal panas untuk konstruksi perkerasan jalan yang seperti pada Tabel 1 sesuai dengan spesifikasi Bina Marga 2018.

Tabel 1.

Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Laston

Sifat Campuran	Sat	Lapis Aus
Jumlah tumbukan per bidang	kali	2 x 75
Stabilitas marshall	kg	min 800
Pelelehan	mm	2 - 4
VIM	%	3 - 5
VFA	%	min 65
Density	gr/ cm ³	2
VMA	%	min 15
Marshall Quotient (MQ)	kg/mm	min 250

METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian di Laboratorium Uji Bahan Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta. Adapun bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah aspal *Esso*, *scerining*, agregat halus dan bahan pengisi semen serta bahan tambah limbah plastik.

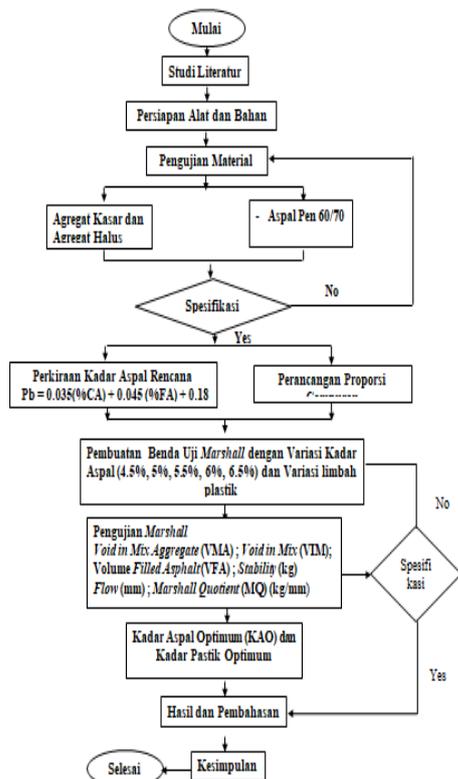
Variabel bebas adalah kadar aspal 5,0 s/d 7% dengan interval 0,5% dan variasi limbah plastik 0,0 s/d 25% dengan interval 5% terhadap kadar aspal optimum. Adapun variabel terikat meliputi VMA, VIM, VFB, *Flow*, Stabilitas, MQ.

Tahapan penelitian Dimulai dari pengujian bahan agregat (agregat kasar, agregat halus, dan *filler*), dan aspal. Kemudian pembuatan benda uji Mashall dengan standar metode pengujian campuran aspal dengan alat Marshall, yaitu menggunakan alat pemadat, alat ekstruder untuk mengeluarkan benda uji dari cetakan. Benda uji Marshall yang pertama yaitu variasi kadar aspal residu 50%; 5,5%; 6,0%; 6,5%; 7,0% untuk mendapatkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO). Kemudian dengan KAO dibuat benda uji dengan menambahkan variasi limbah plastik 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dan 25%. Untuk setiap variasi dibuat tiga benda uji sehingga total benda uji yang dibuat sebanyak 30 buah dan ditumbuk sebanyak 2 x 75 tumbukan. Lalu dilakukan pengujian Marshall, untuk

menentukan Kadar Limbah Plastik Optimum.

Menurut Prasetyo (2009), Penambahan plastik dengan cara kering yaitu dengan menambahkan plastik ke dalam agregat panas diaduk selama 30 – 45 detik. Cara kering menghasilkan karakteristik Marshall lebih tinggi. Metode pengujian yang digunakan adalah dengan metode Marshall dan didapat hasil berupa stabilitas, *flow*, VIM, VFB dan MQ.

Data yang telah diperoleh dari uji laboratorium selanjutnya akan disajikan dalam tabel data serta diplotkan ke dalam bentuk grafik, lalu dilakukan analisis data dan dibandingkan dengan spesifikasi sesuai masing-masing pengujian untuk mendapatkan kesimpulan. *Software* untuk membantu dalam analisis data menggunakan Microsoft Excel. Prosedur penelitian ditampilkan dengan diagram alir pada Gambar 2 sebagai berikut.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian sifat fisik agregat dan aspal memenuhi disajikan pada Tabel 2.

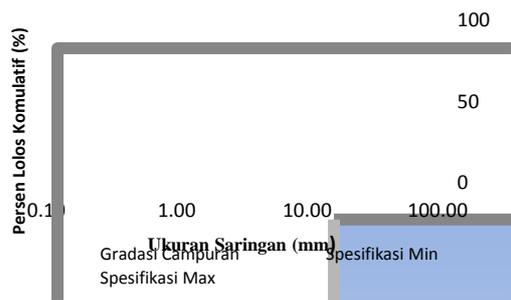
Tabel 2.
Hasil Pengujian Sifat Fisik Agregat Kasar, Agregat Halus, *Filler*, dan Aspal.

Pengujian	Hasil	Spesifikasi
Agregat Kasar Batu Pecah		
Berat Jenis	2,27	-
Berat Jenis Semu	2,35	-
Penyerapan Air	2,15%	≤ 3%
Kadar Lumpur	0,84%	≤ 1%
Agregat Halus Abu Batu		
Berat Jenis	2,40	-
Berat Jenis Semu	2,53	-
Penyerapan Air	2,67%	≤ 3%
Kadar Lumpur	5,5%	≤ 10%
Aspal		
Berat Jenis	1,02	Min 1,0
Penetrasi	68	60-79
Titik Lembek	48	50-58
Duktilitas	102	Min 100

Hasil pengujian *screening* dan abu batu semuanya memenuhi SNI 8198:2015) Spesifikasi Campuran Beraspal Panas Bergradasi Menerus (Laston). Adapun hasil pengujian aspal untuk titik lembek nilainya tidak memenuhi spesifikasi Pedoman Pd.T-04-2005-B, 2005, Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan Pusat Litbang.

Proporsi Beton Aspal

Proporsi yang didapatkan memenuhi spesifikasi yaitu agregat kasar 47%, agregat halus 49%, dan filler 4%. Grafik gradasi agregat gabungan disajikan pada Gambar 3 sebagai berikut.



Gambar 3. Grafik Gradasi Agregat Gabungan

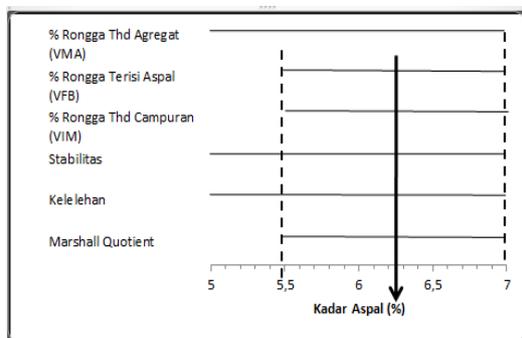
Hasil Pengujian Marshall

Pengujian Marshall tahap pertama untuk mendapatkan Kadar Aspal Optimum (KAO). Berikut hasil pengujian Marshall tahap pertama pada Tabel 3. Sebagai berikut.

Tabel 3.
Rekapitulasi Hasil Pengujian Marshall tanpa Limbah Plastik

Parameter	Variasi Aspal (%)					Syarat
	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	
VMA (%)	16,76	16,78	16,65	17,19	18,38	≥ 15
VFB (%)	62,29	69,01	74,81	80,17	83,15	≥ 65
VIM (%)	6,34	5,23	4,29	3,42	3,07	3 - 5
Stabilitas (kg)	884,1	898,9	1091,7	1112,9	1196,8	≥ 800
Flow (mm)	3,43	4,00	4,03	4,03	3,97	2 - 4
MQ (kg/mm)	264,5	230,3	263,26	291,92	299,99	≥ 250

Penentuan Kadar Aspal Optimum seperti pada Gambar 4. Bar Chart seperti pada.



Gambar 4. Bar Chart Kadar Aspal Optimum

Pada gambar 4 Menunjukkan bahwa rentang kadar aspal yang memenuhi semua spesifikasi adalah antara 5,5% - 7,0%., maka didapat KAO sebagai berikut:

$$\text{KAO} = \{(5,5\% + 7,0\%) : 2\}$$

$$= 6.25\%$$

Dengan KAO 6,25%, sebagai acuan untuk pembuatan beton aspal dengan penambahan limbah plastik 0.0%, 5%, 10%, 15%, 20% dan 25% dari KAO. Rekapitulasi disajikan pada Tabel 4 dan Gambar 5a s/d 5f.

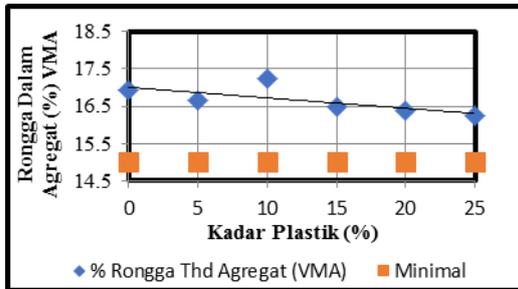
Tabel 4.
Rekapitulasi Hasil Pengujian Marshall dengan Variasi Limbah Plastik

Parameter	Limbah Plastik (%)					Syarat	
	0,0	5,0	10	15	20		25
VMA (%)	16,92	16,65	17,23	16,50	16,38	16,25	≥ 15
VFB (%)	77,49	74,81	78,66	82,99	84,93	83,85	≥ 65
VIM (%)	3,86	4,29	3,68	2,82	2,45	2,63	3 - 5
Stabilitas (kg)	1102,	1091,	1769,	1721,	2386,	2586,	≥ 800
Flow (mm)	3	7	8	4	7	4	
MQ (kg/mm)	3,43	3,8	4,17	4,23	4,40	4,13	≥ 3
MQ (kg/mm)	264,5	263,3	406,4	410,4	566,8	630,1	≥ 250

a. Rongga diantara Agregat (VMA)

Merupakan volume rongga dalam agregat campuran. Hasil pengujian menunjukkan bahwa Nilai VMA cenderung semakin menurun dengan bertambahnya kadar limbah plastik. Hal ini disebabkan setiap penambahan limbah plastik akan mengakibatkan campuran semakin rapat, sehingga rongga-rongga akan terisi oleh aspal. Sehingga campuran menjadi lebih rapat, air dan udara tidak mudah memasuki rongga-rongga dalam campuran yang menyebabkan aspal tidak mudah teroksidasi dan campuran menjadi tahan lama. Limbah plastik membuat volume aspal dan volume rongga udara yang

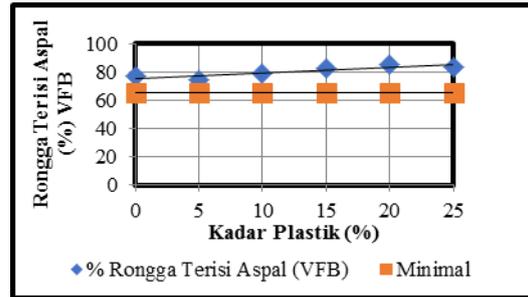
diperlukan dalam campuran semakin sedikit, karena diisi oleh limbah plastik. Untuk nilai VMA pada kadar limbah plastik 0% sampai 25%, masih memenuhi syarat [2], minimal 15%. (seperti pada Tabel 4 dan Gambar 5a).



Gambar 5a. Grafik VMA

b. Rongga Terisi Aspal (VFB)

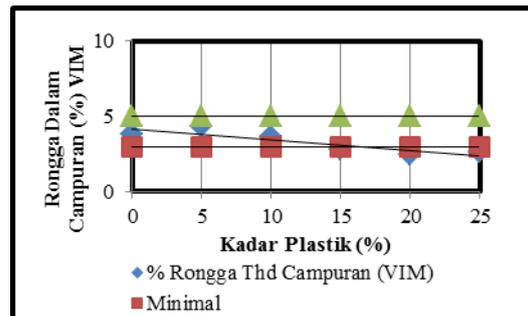
Merupakan prosentase dari VMA setelah dikurangi VIM atau disebut kandungan aspal efektif yaitu bagian dari VMA yang terisi oleh aspal tidak termasuk di dalamnya aspal terabsorpsi oleh masing-masing butiran agregat. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai VFB cenderung meningkat dengan bertambahnya limbah plastik. Hal ini dikarenakan kadar limbah plastik bersifat seperti aspal sebagai pengisi rongga diantara agregat pada campuran lebih besar, selain itu juga pori antar agregat lebih rapat dan lebih tahan terhadap retak leleh yang lebih baik, sehingga campuran kedap terhadap air dan udara yang akhirnya menyebabkan lapis perkerasan lebih awet. VFB pada kadar limbah plastik 0% sampai 25%, masih memenuhi minimal 65%. (Gambar 5b).



Gambar 5b. Grafik VFB

c. Rongga Dalam Campuran (VIM)

Hasil penelitian didapat penambahan limbah plastik cenderung menurunkan nilai VIM. karena limbah plastik mengisi rongga campuran, sehingga campuran menjadi rapat sehingga air dan udara tidak mudah memasuki rongga-rongga dalam campuran yang menyebabkan aspal lebih tahan lama. Nilai VIM berbanding lurus dengan nilai VMA. Nilai VIM yang memenuhi persyaratan sesuai spesifikasi yaitu 3,5 s/d 5,5% adalah pada limbah plastik 0% sampai 15% dengan nilai VIM sebesar 3,86 s/d 2,82%. (Seperti pada Gambar 5c).

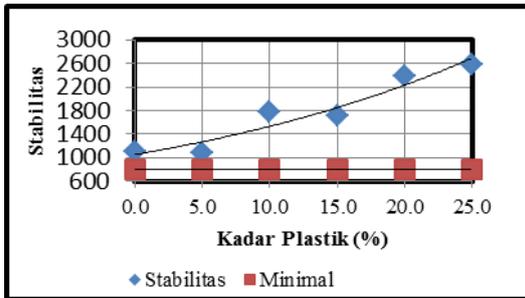


Gambar 5c. Grafik VIM

d. Stabilitas

Merupakan kemampuan campuran beton untuk perkerasan menerima beban lalu lintas dengan tidak terjadi perubahan bentuk. Penambahan limbah plastik sampai 25% cenderung meningkatkan nilai stabilitas. Hal ini disebabkan karena

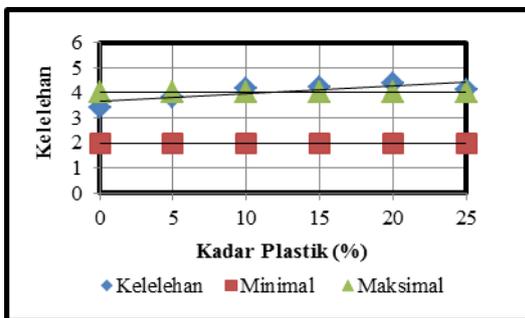
limbah plastik bercampur dengan aspal di dalam campuran, menyebabkan daya lekat aspal menjadi lebih. Nilai stabilitas untuk semua variasi limbah plastik memenuhi persyaratan sesuai spesifikasi yaitu > 800 kg. (Gambar 5d).



Gambar 5d. Grafik Stabilitas

e. Kelelahan

Merupakan menunjukkan deformasi beton aspal akibat pembebanan. Hasil penelitian didapat nilai kelelahan terus meningkat dengan bertambahnya variasi limbah plastik, karena selimut aspal bertambah besar. Beton aspal menjadi fleksibel, tidak mudah retak apabila terkena beban lalu lintas yang tinggi dan berat. Nilai kelelahan yang memenuhi persyaratan sesuai spesifikasi yaitu 2 s/d 4 mm adalah pada limbah plastik 0% sampai 15% dengan nilai flow 3,43 mm s/d 4.0 mm. (Seperti pada Gambar 5e).

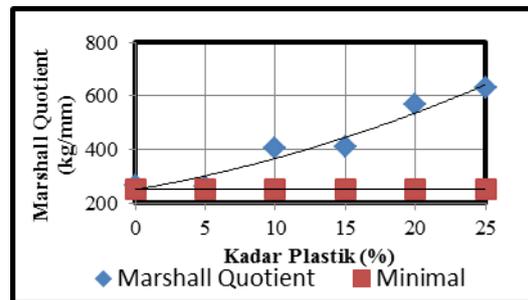


Gambar 5e. Grafik Kelelahan

f. Hasil Bagi Marshall (MQ)

Merupakan perbandingan antara stabilitas dan kelelahan yang juga

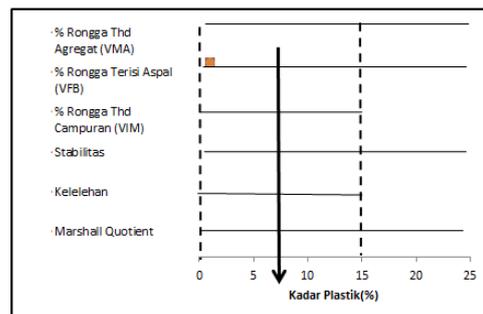
merupakan indikator terhadap kekakuan campuran. Nilai Marshall Quotien naik dengan penambahan limbah plastik, mengindikasikan semakin tinggi kekakuan suatu campuran dan semakin rentan campuran terhadap keretakan. Nilai hasil bagi Marshall untuk semua variasi limbah plastik sesuai dengan spesifikasi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Untuk Pekerjaan Jalan dan Jembatan. yaitu > 250 kg/mm. (Seperti Gambar 5f).



Gambar 5f. Grafik Marshall Quotient

g. Kadar Limbah Plastik Optimum

Berdasarkan spesifikasi serta hasil analisis beton aspal dengan penambahan limbah plastik, maka dapat ditentukan kadar batu gamping optimum yang ditampilkan dengan bar chart pada Gambar 6 sebagai berikut.



Gambar 6. Bar chart Kadar Limbah Plastik Optimum

Kadar Limbah Plastik Optimum

$$= \{(0\% + 15\%) : 2\} = 7,5\%$$

Berikut didapat nilai Limbah Plastik Optimum untuk campuran beton aspal sebesar 7,5%, disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5.
Karakteristik Marshall dengan Limbah Plastik Optimum

Parameter	Kadar Limbah Plastik Optimum	Spesifikasi
VMA (%)	16,71	min 15
VFB(mm)	80,24	min 65
VIM (%)	3,34	3 - 5
Stabilitas (kg)	1411,82	800
Flow (mm)	3,38	2 - 4
MQ (kg/mm)	337,45	min 250

PENUTUP

Simpulan

Limbah plastik dapat dimanfaatkan sebagai bahan tambah pada beton aspal campuran panas. Dengan Kadar Aspal Optimum 6,25%, limbah plastik cenderung meningkatkan nilai VFB, Stabilitas, kelelahan dan Marshall Quotient (MQ), masing-masing nilai kenaikan sebesar 18,99%; 43,34%; 40,82%, dan cenderung menurunkan nilai VMA dan VIM masing-masing sebesar 10,23% dan 10,17%. Hal ini disebabkan karena limbah plastik bercampur dengan aspal, menyebabkan daya lekat aspal menjadi lebih, dan selimut aspal bertambah besar. Campuran beton aspal menjadi fleksibel, Adapun kadar limbah plastik Optimum sebesar 7,5% dengan nilai VMA, VFB, VIM, Stabilitas, kelelahan, dan Marshall Quotient memenuhi persyaratan umum untuk lapis permukaan pada jalan dengan lalu lintas sedang hingga berat

Saran

Hasil penelitian ini didapat kadar optimum limbah plastik berbentuk pellet pp sebesar 7,5% terhadap berat aspal. Saran untuk penelitian selanjutnya dapat menggunakan plastik jenis lain, atau prosentase limbah plastik terhadap agregat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ijinkan penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya

kepada semua pihak yang telah membantu penelitian ini terutama kepada Jurusan Teknik Sipil dan UP2M Politeknik Negeri Jakarta, yang telah menyalurkan dana serta mahasiswa Elisabeth dan Tsana, dan PLP bapak Kusno Jurusan Teknik Sipil yang sudah membantu pada proses pelaksanaan dan pengambilan data di laboratorium.

DAFTAR PUSTAKA

- Admin DLH. (2018). *Dampak Plastik terhadap Lingkungan*. Dina Lingkungan Hidup. Pemerintah Kabupaten
<https://dlh.bulelengkab.go.id/detail/artikel/dampak-plastik-terhadap-lingkungan-88>
- Aschuri, I., Anwar, Y., Yoseba, D. W. (2016). *The Use of Waste Plastic as a Partial Substitution Aggregate in Asphalt Concrete Pavement*. Jurnal Teknik Sipil. Vol. 23 No.1 2016. Hal 1 – 6.
- Badan Standardisasi Nasional. (SNI 8198:2015). *Spesifikasi Campuran Beraspal Panas Bergradasi Menerus (Laston)*.
- Hendrastianto, Zulkarnain Ali. 2019. *Proses Pengolahan Limbah Plastik Menggunakan Mesin Ekstrusi dalam Media Kehutanan dan Lingkungan Hidup*. Forester Act. <https://foresteract.com/author/zulkarnain-ali/>
- Iskandar, A. C. S. (2021). *Kinerja Campuran Beton Aspal AC-WC dengan Penambahan Limbah Botol Plastik*. Jurnal Teknik Sipil MACCA, VOL.6 NO.1, pp. 84–92.
- Kusdiyono, K. et al. (2019). *Pengaruh Penambahan Limbah Plastik Jenis Thermosetting Terhadap Parameter Marshall Laston AC-WC*. Wahana Teknik Sipil: Jurnal Pengembangan Teknik Sipil,

- 24(2), p. 166. doi:
- Luh, N. et al. (2019). *Menggunakan Agregat Terselimut Limbah Plastik Ldpe (Low Density Polyethylene)*. Jurnal Muara Sains, Teknologi, Kedokteran dan Ilmu Kesehatan, 3(1), pp. 123–136.
- Pedoman Pd.T-04-2005-B, 2005. *Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan Pusat Litbang*.
- Prasetyo, H., Sugeng, D. H., Herlan, P., Heri, W. (2018). *Penggunaan Limbah Polietilen Densitas Tinggi Sebagai Pengubah Bitumen Dalam Campuran Beton Aspal*. Jurnal UkaRsT Vol.2, No.1 Tahun 2018, hal 67-76.
- Prestilia, Pertiwi; Yanti, O. D. mahmuda; sumiati (2018). *Pengaruh Penggunaan Aspal Terhadap Perubahan Suhu Pada Laston Ac-Wc*. Pilar jurnal Teknik Sipil, 13(01).
- Rahmawati, A. (2015). *Pengaruh Penggunaan Plastik Polyethylene (Pe) Dan High Density Polyethylene (Hdpe) Pada Campuran Lataston-Wc Terhadap Karakteristik Marshall*. Jurnal Ilmiah Semesta Teknika, 18(2), pp. 147–159.
- Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Untuk Pekerjaan Jalan dan Jembatan. Direktorat Jendral Bina Marga.
https://binamarga.pu.go.id/v3/assets/files/NSPK/pembangunan_jalan/2018_Spesifikasi%20Umum%202018%20TERKENDALI%20FINAL.pdf
- Sukirman, Silvia. (2016). *Beton Aspal Campuran Panas*. Bandung: Institut Teknologi Nasional.
- Sumadilaga, Danis. H. (2017). *Kementerian PUPR Lanjutkan Ujicoba Penggunaan Aspal Campuran Limbah Plastik*. SP.BIRKOM/XII/2017/609.
<https://pu.go.id/berita/kementerian-pupr-lanjutkan-ujicoba-penggunaan-aspal-campuran-limbah-plastik>
- Suroso, T. W. (2009). *Pengaruh Penambahan Plastik LDPE (Low Density Polyethilen) Cara Basah dan Cara Kering Terhadap Kinerja Campuran Beraspal*. Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Pusjatan. Vol 26. No.2, Agustus 2009 hal. 1-16.
- Wiyono, E. Susilowati, A., Pratikto (2020). *The Effect of Addition of - Plastic-Waste- ini Porous Asphalt Concrete on Permeability and Properties Marshall*. Depok: Prosiding Asais, Annual Southeast Asian International Seminar.