

Pengaruh Substitusi Minyak Pirolisis Plastik Terhadap Kinerja Perkerasan Semi Fleksibel

Hamzani¹⁾, T. Mudi Hafli²⁾, Nura Usrina³⁾, Fasdarsyah⁴⁾ M. Ihsan⁵⁾
^{1, 2, 3, 4, 5)} Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh, Lhokseumawe,
Email: hamzani@unimal.ac.id

(Received: 11 Oktober 2023 / Revised: 28 Oktober 2023 / Accepted: 02 November 2023)

Abstrak

Modifikasi terhadap material beton aspal semakin menarik dipelajari oleh peneliti terutama untuk meningkatkan kinerja campuran dalam melayani beban lalu lintas akibat pengaruh iklim dan cuaca. Penggunaan material modifikasi pada aspal semakin meningkat terutama akibat meningkatnya teknologi daur ulang material bekas. Material bekas yang dihasilkan oleh produksi sampah semakin meningkat yang dapat berdampak pada lingkungan terutama jenis sampah yang sulit diurai dan dineteralkan oleh tanah seperti ban bekas, plastik *High Density Polyethylene* (HDPE), dan jenis sampah lainnya. Untuk mengurangi dampak tersebut salah satu usaha yang dapat dilakukan mendaur ulang sampah tersebut menjadi produk berguna dalam menutupi ketersediaan sumber daya alam yang semakin hari semakin berkurang. Tujuan penelitian ini untuk menganalisa pengaruh penambahan minyak pirolisis plastik pada sifat reologi aspal penetrasi 60/70 terhadap kinerja perkerasan semi fleksibel. Metode yang digunakan yaitu sampah plastik dijadikan minyak melalui proses pirolisis untuk dijadikan bahan tambah pada aspal dalam campuran perkerasan semi fleksibel. Pencampuran tersebut diperoleh aspal modifikasi aspal dengan penambahan minyak plastik 0% - 5%. Hasil penelitian menunjukkan penggunaan minyak pirolisis plastik HDPE dapat meningkatkan kinerja kuat tekan perkerasan semi fleksibel.

Kata kunci: *minyak HDPE, perkerasan semi fleksibel, kuat tekan*

Abstract

Researchers are increasingly interested in modifying asphalt concrete materials, especially to improve the performance of the mixture in serving traffic loads due to the influence of climate and weather. The use of modified materials in asphalt is increasing, especially due to improvements in recycling technology for used materials. Used materials produced by waste production are increasing which can have an impact on the environment, especially types of waste that are difficult to decompose and neutralize by the soil such as used tires, High Density Polyethylene (HDPE) plastic, and other types of waste. To reduce this impact, one of the efforts that can be made is to recycle this waste into useful products to cover the availability of natural resources which are decreasing day by day. The aim of this research is to analyze the effect of adding plastic pyrolysis oil on the rheological properties of 60/70 penetration asphalt on the performance of semi-flexible pavement. The method used is that plastic waste is turned into oil through a pyrolysis process to be used as an additive to asphalt in semi-flexible pavement mixtures. This mixture produces modified asphalt with the addition of 0% - 5% plastic oil. The research results show that the use of HDPE plastic pyrolysis oil can improve the compressive strength performance of semi-flexible pavement.

Keywords: *HDPE oil, semi-flexible pavement, compressive strength*

1. Latar Belakang

Pengikat aspal yang kuat sangatlah diperlukan untuk mendapatkan perkerasan yang bermutu tinggi dan tahan lama akibat beban lalu lintas, pengaruh suhu serta penyusutan perkerasan sehingga umur rencana jalan terpenuhi [1]. Pengikat aspal yang tepat untuk mengoptimalkan mastik aspal, kekakuan campuran pada suhu tinggi dengan meningkatkan kinerja pemadatan sehingga deformasi yang terjadi tidak berdampak negatif terhadap campuran perkerasan [2], [3].

Kinerja pemadatan dengan mengurangi porositas antara agregat dan pengikat aspal untuk menekan laju penguapan minyak aspal sehingga lapisan perkerasan tercapai umur rencana. Oleh karena itu, modifikasi pengikat aspal diperlukan untuk meningkatkan sifat teknik pengikat [4], [5]. Untuk meningkatkan masa pelayanan jalan diperlukan bahan tambah yang tepat untuk meningkatkan adhesi aspal.

Penggunaan crumb rubbers (CR) untuk modifikasi aspal telah menunjukkan peningkatan reologi aspal pada penelitian sebelumnya [6],[8]. Penggunaannya dalam modifikasi pengikat aspal dengan minyak pirolisis sampah plastik (*Height Density Polyethylene*, HDPE) yang diproduksi melalui proses basah untuk dievaluasi karena prevalensinya dalam literatur [9]. Pengikat aspal bermutu tinggi pada campuran perkerasan semi fleksibel (PSF) merupakan komponen penting untuk diteliti karena penggunaan kadar aspal relatif rendah disebabkan penggunaan agregat bergradasi terbuka.

Penggunaan limbah HDPE sebagai bahan tambah pengikat aspal campuran aspal PSF dapat mengurangi jumlah limbah yang semakin meningkat produksinya, terutama jenis limbah yang sulit terurai seperti limbah plastik [10], [11]. Plastik memiliki sifat hidropobik dan termoplastik, sifat ini mirip dengan sifat aspal yang memiliki nilai potensial sebagai bahan tambah[12]. Selain itu plastik juga sebuah polimer sintetik yang terbuat dari minyak bumi yang tidak dapat terdegradasi oleh mikroorganisme di lingkungan, oleh karena itu penggunaan plastik sebagai bahan tambah untuk pengikat aspal campuran PSF merupakan alternatif ramah lingkungan.

Pirolisis merupakan proses dekomposisi bahan organik dan polimer dengan memanaskan bahan tersebut tanpa oksigen untuk menghasilkan produk-produk dengan berat molekul yang lebih rendah. Limbah plastik merupakan bahan fleksibel dan mudah didapat yang dapat dimanfaatkan sebagai alternatif bahan tambah. Pemanfaatan ini dilakukan untuk mengurangi keberadaan sampah botol plastik yang selama ini membawa dampak negatif bagi lingkungan [13], [14].

Penambahan karet ban bekas/waste tire recycling (WTR) ke dasar pengikat aspal dapat meningkatkan sifat pengikat aspal, seperti mengurangi biaya konstruksi dan pemeliharaan, memperbaiki ketahanan terhadap deformasi permanen, mengurangi kerusakan kelelahan dan potensi retak thermal, mengurangi ketebalan struktur perkerasan dan mengurangi kemungkinan retak reflektif [15], [16].

Mortar semen bertindak sebagai bahan pengisi rongga pada pembuatan PSF dengan menginjak ke dalam rongga aspal berpori untuk memastikan lebih banyak kekakuan dan, dengan penggunaan komposisi yang sesuai untuk Void in the Mix (VIM), juga telah dilaporkan memiliki kemampuan untuk menghasilkan perkerasan yang baik dengan ketahanan lendutan yang memadai [17], [18].

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui kinerja PSF berupa nilai kuat tekan menggunakan bahan tambah minyak pirolisis HDPE untuk meningkatkan pengikat pada aspal peneterasi 60/70 melalui proses basah dengan metode eksperimental. Disamping itu untuk mengetahui proporsi optimal minyak pirolisis HDPE sebagai bahan tambah pada aspal yang menghasilkan kuat tekan maksimum campuran PSF.

2. Metode Penelitian

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah agregat, semen Portland tipe II, aspal peneterasi 60/70, minyak pirolisis plastik bekas jenis HDPE dan aspal penetrasi 60/70. Bahan material digunakan berasal dari sumber daya alat lokal yaitu propinsi Aceh. Sedangkan peralatan yang digunakan secara umum yaitu los angeles abrasion machine, saringan dan penggetar, alat uji aspal, alat uji Marshall, mixer, dan alat uji tekan dengan kapasitas 2000 kN. Peralatan yang digunakan tersedia dengan baik di Laboratorium Teknologi Bahan dan Material Jalan Raya Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh.

Agregat kasar dan halus yang dipersiapkan menggunakan agregat batu pecah gradasi terbuka material lokal Aceh Utara yang memenuhi spesifikasi Standar Jalan Raya Indonesia 2010 dan standar *Australian Asphalt Pavement Association* (AAPA) 2004 [19]. Aspal sebagai bahan pengikat menggunakan aspal penetrasi 60/70 produksi PT. Pertamina. Pasir sebagai material pembuatan mortar menggunakan pasir halus material lokal, sedangkan semen menggunakan semen Portland tipe II produksi PT. Semen Andalas. Adapun bahan tambah berupa minyak pirolisis plastik HDPE masing-masing dipersiapkan sesuai kebutuhan.

Sistem pengambilan data dalam penelitian ini melalui pengamatan langsung hasil pengujian yang dilakukan di Labratorium Jurusan Teknik Sipil Universitas Malikussaleh Buket Indah – Lhokseumawe yang terdiri dari dua tahapan. Pengambilan data awal yaitu penentuan kadar aspal optimum (KAO) dan dilanjutkan penentuan karakteristik aspal porus spesifikasi AAPA 2004 melalui hasil uji Marshall yaitu stabilitas, flow, kadar rongga dalam campuran/*Void In The Mix* (VIM) dan permeabilitas. Syarat-syarat tersebut terpenuhi dilanjutkan dengan proses pembuatan benda uji untuk pengambilan data kedua yaitu data hasil uji kuat tekan masing-masing sampel uji dibuat 3 buah dengan menggunakan alat uji kuat tekan kapasitas 2000 kN.

Desain penelitian ini dimulai dari persiapan material yang terdiri dari agregat, aspal, semen, minyak pirolisis HDPE. Selanjutnya pemeriksaan material untuk memenuhi spesifikasi yang digunakan dan dilanjutkan rancangan campuran untuk pembuatan benda uji. Setelah pembuatan benda uji dilanjutkan penuangan mortar semen dan pemeliharaan benda uji sesuai umur yang direncanakan. Data hasil pengujian tersebut dikelompokkan dan di rata-ratakan kemudian dianalisis untuk mengetahui hubungan antara variabel terikat dengan variabel bebas menggunakan analisis varian untuk klasifikasi satu arah model efek tetap [20]. Proses selanjutnya adalah analisis regresi untuk membuat model dan menyelidiki hubungan antara dua variabel atau lebih berupa hubungan antara kadar minyak pirolisis dengan nilai kuat tekan.

3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan pada penelitian ini penyajian hasil yaitu karakteristik aspal porus dan nilai kuat tekan dengan bahan tambah minyak pirolisis HDPE pada PSF. Hasil pengujian Marshall untuk mengetahui *specimen* uji aspal porus terpenuhi persyaratan yang digunakan yaitu Standar Jalan Raya Indonesia 2010 dan AAPA, 2004, dari hasil pengujian yang telah dilakukan terhadap beberapa parameter uji yang diperoleh diperlihatkan pada Tabel 1.

Kadar aspal optimum	Karakteristik aspal porus	Nilai	Persyaratan (AAPA, 2004)
4%	Stabilitas	535,72	Min. 500
	Flow	4,217	2 - 6
	VIM	22,70	18 - 25
	Permeabilitas	0,41	0,1 - 0,5

Berdasarkan hasil yang diperlihatkan pada Tabel 1 di atas dapat dijelaskan bahwa kadar aspal yang memenuhi standar yang digunakan sebesar 4% dan nilai kadar aspal tersebut dijadikan patokan untuk penentuan minyak pirolisis HDPE dalam aspal untuk rancangan spesimen PSF dengan variasi 0%, 10%, 15% dan 25%.

Berdasarkan hasil uji *specimen* uji PSF dengan menggunakan mesin uji tekan dengan kapasitas 2000 kN terhadap *specimen* uji dan kondisi bentuk kehancuran *specimen* uji juga diamati. Kondisi kehancuran benda uji terjadi setelah mengalami 2 fase yaitu fase elastis dan fase plastis seperti diperlihatkan pada Gambar 1. Nilai kuat tekan campuran PSF yang diperoleh pada setiap variasi minyak pirolisis HDPE dalam pengikat aspal yang sangat bervariasi dan pengaruhnya secara umum dapat dikatakan meningkatkan nilai kuat tekan.



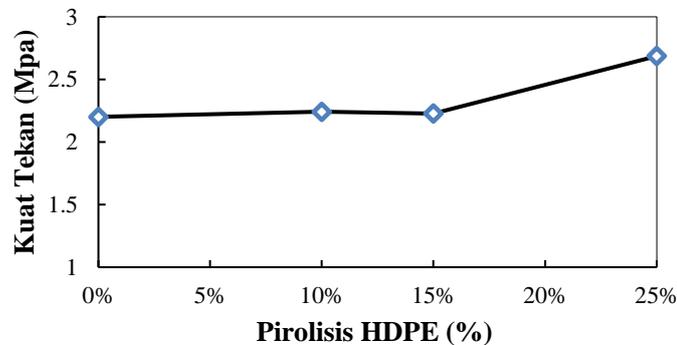
Gambar 1 Bentuk kehancuran uji tekan

Berdasarkan Gambar 1 di atas dapat dijelaskan bahwa kehancuran benda uji akibat tekan dimulai dari sebelah luar dengan bentuk retak vertical dan nilai pembebanan maksimum dicatat untuk dianalisis. Nilai kuat tekan yang diperoleh dihitung secara rata-rata dan diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil Pengujian Kuat Tekanl Campuran PSF aspal Porus

No.	Minyak pirolisis	Kuat Tekan Rata – rata umur 14 hr (Mpa)
1	0%	2.205
2	10%	2.240
3	15%	2.236
4	25%	2.686

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan campuran PSF dengan penambahan minyak pirolisis HDPE dalam pengikat mengalami peningkatan signifikan untuk setiap variasi dengan peningkatan maksimum terjadi pada penambahan minyak pirolisis 25. Bentuk hubungan parameter kuat tekan dengan kadar minyak pirolisis diperlihatkan pada Gambar 2.



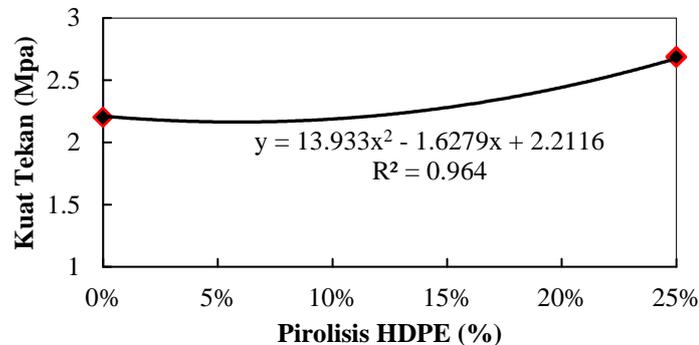
Gambar 2 Kuat Tekan dengan kadar Minyak HDPE

Berdasarkan Gambar 2 di atas dapat dijelaskan bahwa peningkatan nilai kuat tekan membentuk garis relatif non linier dan nilai kuat tekan yang diperoleh berbanding lurus seiring bertambahnya kadar minyak pirolisis HDPE serta peningkatan yang sangat signifikan terjadi setelah penambahan minyak pirolisis 15%.

Dari hasil penelitian didapat nilai parameter Marshall pada campuran aspal porus menggunakan aspal penetrasi 60/70 dengan agregat batu pecah diperoleh pada kadar aspal optimum 4%, pada kondisi ini specimen uji telah memenuhi standar spesifikasi AAPA (2004). Nilai stabilitas dan VIM mempunyai peranan sangat penting terhadap kinerja perkerasan PSF, dimana nilai stabilitas berpengaruh terhadap nilai kekakuan campuran yang dapat berdampak pada ketahanan lentur, namun dalam penelitian ini tidak dilakukan kajian. Sedangkan nilai VIM berpengaruh terhadap volume mortar semen yang terinjeksi ke dalam campuran PSF. Semakin tinggi kadar volume mortar dalam campuran semakin berpengaruh terhadap nilai kuat tekan campuran PSF.

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dengan menggunakan mesin uji tekan diperoleh bahwa campuran PSF berdasarkan nilai kuat tekan dapat dianalisis dimana penambahan minyak pirolisis HDPE dapat meningkatkan nilai kekakuan campuran sehingga nilai kuat tekan menjadi meningkat. Hal ini dapat dilihat berdasarkan nilai kuat tekan dengan kondisi 0% minyak pirolisis HDPE sebagai benda uji kontrol dengan nilai kuat tekan sebesar 2,205 MPa. Nilai kuat tekan terus

mengalami peningkatan seiring bertambahnya kadar minyak pirolisis HDPE yang ditambahkan dalam pengikat aspal dengan bentuk dan persamaan garis non linier seperti diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Hubungan Kuat Tekan dengan kadar Minyak HDPE

Berdasarkan Gambar 3 di atas dapat dijelaskan bahwa bentuk garis peningkatan kuat tekan dapat dijelaskan dimana campuran dengan penambahan minyak pirolisis dari 0% sampai dengan 15% kondisi campuran pada fase ini masih sangat elastis sehingga peningkatan nilai kuat tekan relatif kecil. Sedangkan setelah melewati batas penambahan minyak pirolisis HDPE 15% sampai dengan 25% perubahan meningkat tajam, kondisi tersebut dapat diprediksi campuran PSF sudah mulai mengalami fase elastis dimana nilai kekakuan campuran sudah mulai meningkat pula. Berdasarkan kondisi tersebut dapat dinyatakan bahwa penambahan minyak pirolisis HDPE dalam pengikat aspal dapat meningkatkan nilai kekakuan campuran PSF.

3 Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Dari hasil dan analisis penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa penambahan minyak pirolisis HDPE ke dalam pengikat aspal dapat mempengaruhi nilai kekakuan campuran beraspal sehingga dapat meningkatkan nilai kuat tekan campuran PSF. Peningkatan nilai kuat tekan campuran PSF yang tertinggi pada variasi minyak pirolisis HDPE 25% yang merupakan pembatasan variasi tertinggi sehingga formulasi optimum minyak pirolisis HDPE tidak dapat ditentukan dalam penelitian ini.

4.2 Saran

Untuk menindaklanjuti kesimpulan yang masih belum tuntas dalam penelitian ini disarankan kepada peneliti selanjutnya dapat melakukan penelitian dengan variasi yang lebih luas mendapatkan kesimpulan lebih komprehensif.

Daftar Kepustakaan

- [1] M. L. Afonso, M. Dinis-Almeida, L. A. Pereira-De-Oliveira, J. Castro-Gomes, and S. E. Zoorob, "Development of a semi-flexible heavy duty pavement surfacing incorporating recycled and waste aggregates - Preliminary study," *Constr Build Mater*, vol. 102, pp. 155–161, 2016, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.10.165.

- [2] A. Setyawan, "Assessing the compressive strength properties of semi-flexible pavements," *Procedia Eng*, vol. 54, pp. 863–874, 2013, doi: 10.1016/j.proeng.2013.03.079.
- [3] A. Setyawan, "Design and Properties of Hot Mixture Porous Asphalt for Semi-Flexible Pavement Applications," *Media Teknik Sipil*, no. 36, pp. 41–45, 2005.
- [4] D. Ge, K. Yan, Z. You, and H. Xu, "Modification mechanism of asphalt binder with waste tire rubber and recycled polyethylene," *Constr Build Mater*, vol. 126, pp. 66–76, 2016, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.09.014.
- [5] R. Islam, S. A. Kalevela, and J. A. Rivera, "Journal of King Saud University – Engineering Sciences Finding an equivalent Hot-Mix Asphalt for Cold-in-Place recycled asphalt using laboratory testing and numerical analysis," *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, vol. 33, no. 5, pp. 332–336, 2021, doi: 10.1016/j.jksues.2019.10.001.
- [6] Hamzani, Munirwansyah, M. Hasan, and S. Sugiarto, "The influence of the using waste tire rubber and natural zeolite as Asphalt and Cement replacements to compressive strength of Semi-Flexible Pavement," *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 523, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/523/1/012037.
- [7] Hamzani, Munirwansyah, M. Hasan, and S. Sugiarto, "Permanent Deformation and Fatigue of Semi Flexible Pavement Incorporating Waste Tire Rubber and Natural Zeolite".
- [8] Hamzani, Munirwansyah, M. Hasan, and S. Sugiarto, "Determining the properties of semi-flexible pavement using waste tire rubber powder and natural zeolite," *Constr Build Mater*, vol. 266, p. 121199, 2021, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.121199.
- [9] I. Aschuri, A. Yamin, Y. D. Widyasih, J. Teoretis, T. Bidang, and R. Sipil, "The Use of Waste Plastic as a Partial Substitution Aggregate in Asphalt Concrete Pavement The Use of Waste Plastic as a Partial Substitution Aggregate," vol. 23, no. 1, 2016.
- [10] I. R. D. Supriyadi, B. Raharjo, and Pranoto, "Kajian eksperimental campuran aspal porous dengan bahan tambahan plastik hdpe (high density poly ethylene)," *Jurnal Bangunan*, vol. 23, no. 2, pp. 19–28, 2018.
- [11] D. Hariadi, S. M. Saleh, R. Anwar Yamin, and S. Aprilia, "Utilization of LDPE plastic waste on the quality of pyrolysis oil as an asphalt solvent alternative," *Thermal Science and Engineering Progress*, vol. 23, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.tsep.2021.100872.
- [12] M. Khadafi and I. Fadly, "STUDI PENGGUNAAN PLASTIK HDPE PADA CAMPURAN ASPAL SEBAGAI BAHAN PENGIKAT KOSTRUKSI JALAN," *JURNAL KARAJATA ENGINEERING*, vol. 3, no. 2, 2023, [Online]. Available: <http://jurnal.umpar.ac.id/index.php/karajata>
- [13] D. Hariadi, S. M. Saleh, R. A. Yamin, and S. Aprilia, "Utilization of LDPE plastic waste on the quality of pyrolysis oil as an asphalt solvent alternative," vol. 23, 2021.
- [14] A. F. Falaah and A. Cifriadi, "Pemanfaatan hasil pirolisis limbah ban bekas sebagai bahan pelunak untuk pembuatan barang jadi karet," vol. 31, no. 2, pp. 149–158, 2013.
- [15] D. Ge, K. Yan, Z. You, and H. Xu, "Modification mechanism of asphalt binder with waste tire rubber and recycled polyethylene," *Constr Build Mater*, vol. 126, pp. 66–76, 2016, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.09.014.
- [16] C. P. Plug, A. H. de Bondt, B. J. van der Woerd, and G. Steensma, "Improved performance of grouted macadams - High Performance Applications of Grouted Macadam," Doorwerth, Netherlands, 2006.
- [17] J. Zhang, J. Cai, J. Pei, R. Li, and X. Chen, "Formulation and performance comparison of grouting materials for semi-flexible pavement," *Constr Build Mater*, vol. 115, pp. 582–592, 2016, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.04.062.

- [18] B. Fang, T. Xu, and S. Shi, "Journal of Laboratory Study on Cement Slurry Formulation and Its Strength Mechanism for Semi-Flexible Pavement," *J Test Eval*, vol. 44, no. 2, 2016, doi: 10.1520/JTE20150230.
- [19] Anonim, "AAPA_IG-8_Aspalt_Mix_Design.pdf." Australia, 2004.
- [20] M. Nazir, *Metode Penelitian*, Edisi 5. Penerbit Ghalia Indonesia, Jakarta, 2003.