



Research Article

Pemanfaatan Tar Residu Bio-Oil Limbah Tempurung Kelapa dengan Aditif Biochar dan Gondorukem Menjadi Bio-Aspal

Bazlina Dawami Afrah^{1,*}, Jasmine Fadhilah Delli Saputri¹, Tiara Maharani Ramona Putri¹,
M. Ihsan Riady², dan Ahmad Nabil Muzzaki³

¹Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

²Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

³Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

Received: 31 July 2024, Accepted: 5 August 2025, Published: 8 September 2025

Abstract

Indonesia still faces critical infrastructure issues, especially in road maintenance, with 31.9% of roads damaged and 15.9% severely damaged in 2021. It caused by the high production costs to achieve the best asphalt quality and the dwindling availability of petroleum raw materials. Without action, this could worsen infrastructure and disrupt connectivity, requiring a timely and effective solution. Therefore, there is a need for alternative renewable materials and simple methods of production. This research aims to obtain a bio-asphalt product that can compete with oil asphalt, using the main ingredient of tar (bio-oil) from coconut shell pyrolysis as well as additives in the form of biochar and *gondorukem*. This research was conducted through three stages: pyrolysis, distillation, and mixing. The pyrolysis stage was carried out at a temperature range of 300-400°C to obtain bio-oil. The distillation stage is carried out at 250°C to obtain tar. The mixture consists of 30% tar and 70% petroleum asphalt. The variations used are the type of additive and the percentage composition of the additive so that the most optimal bio-asphalt formulation is obtained. The Bio-asphalt superior product almost meets the five existing parameters, with a penetration value of 60/70, ductility of 132.33 mm, soft point of 52.8°C and flash point of 254°C, the specific gravity that does not meet is 0.965 gr/cc. Therefore, this research is a solution in the production of economical asphalt so that the welfare of an evenly distributed society in the field of infrastructure can be achieved.

© 2025 published by Sriwijaya University

Keywords: *bio-asphalt, biochar, bio-oil, pyrolysis, tar.*

1. PENDAHULUAN

Kesejahteraan masyarakat merupakan tujuan negara yang dapat dicapai salah satunya melalui pembangunan infrastruktur yang baik. Ruas jalan di Indonesia menjadi jembatan utama dalam menghubungkan setiap masyarakat pada berbagai daerah. Bantuan dalam bidang infrastruktur berupa fasilitas jalan yang baik sangat dibutuhkan di setiap daerah. Hal ini menjadi masalah besar di Indonesia pada tahun 2021 tercatat 31,9 % jalan mengalami kerusakan dan 15,9% rusak berat yang dimuat dalam Statistik Transportasi Darat 2021.

Proyek perbaikan dan pembangunan ruas jalan di Indonesia saat ini masih diupayakan, namun dalam pelaksanaannya dibutuhkan bahan baku utama yaitu aspal minyak bumi sebagai agen perekat dan *filler*. Peranan aspal minyak bumi sangat penting dalam

perkerasan jalan, namun ketersediaan dari sumber minyak bumi di Indonesia saat ini sudah mulai menipis. Cadangan minyak bumi sebelum pandemi oleh Badan Pusat Statistik (BPS) dari tahun 2018 ke 2019 mengalami penurunan 49,8% yang mulanya 7,53 miliar barel menjadi 3,77 miliar barel.

Masalah krisis energi ini memiliki sisi lain yang bisa diusahakan sebagai gebrakan baru dalam pemanfaatan energi terbarukan yaitu limbah biomassa. Sebagai negara yang kaya akan sumber daya alam, Indonesia memiliki potensi biomassa mencapai 146,7 juta ton pertahunnya [1]. Badan Pusat Statistik mencatat bahwa pada tahun 2021 produksi kelapa mencapai 2,85 juta ton. Tanaman ini dijuluki sebagai pohon kehidupan disebabkan setiap bagiannya dapat dimanfaatkan. Namun, seiring dengan hal tersebut juga memberikan peningkatan limbah tempurung kelapa yang cukup sulit untuk

ditanggulangi. Maka dari itu, disajikan solusi yaitu penggunaan metode pirolisis terhadap limbah biomassa. Bagian yang jarang digunakan dan cenderung menjadi limbah adalah tempurung kelapa. Harsono [2] mencatat bahwa dari setiap 58,3 kg buah kelapa, sekitar 19,3 kg atau sekitar 33% dari buahnya berubah menjadi limbah tempurung kelapa. Hal ini disebabkan oleh kandungan lignoselulosanya yang tinggi. Tempurung kelapa memiliki kandungan lignin 36,51%, selulosa 33,61% dan hemiselulosa 29,27% [3]. Proses pirolisis ini mengubah limbah biomassa seperti kayu, jerami, dan limbah organik lainnya menjadi produk cair yang memiliki sifat-sifat aspal yang dapat berguna dalam perkerasan jalan. Metode pirolisis ini tergolong sederhana serta mudah untuk diaplikasikan kepada masyarakat serta dengan alat yang mudah untuk diperoleh dari sekitar. Selain itu, metode ini dengan bahan limbah organik akan menghasilkan tiga produk yaitu biogas, *biochar* dan *bio-oil* [4]. Ketiga produk itu dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif berkelanjutan.

Produk yang umumnya diinginkan dalam proses ini ialah *bio-oil*, namun sayangnya pada pirolisis sederhana bahan berkayu menghasilkan lebih banyak residu dalam bentuk asap cair. Hal ini disebabkan oleh alat yang digunakan sulit untuk mengatur variabel suhunya maka saat pembakaran juga diperoleh tar. Pirolisis yang terjadi pada temperatur tinggi menghasilkan produk *bio-oil* yang semakin banyak, namun menurunkan rendemennya karena terjadi *secondary cracking* pada tar [5]. Tar hasil residu *bio-oil* ini merupakan fraksi berat yang tidak dapat larut dalam air. Peristiwa ini dapat terjadi saat lignin pada biomassa memiliki berat molekul yang tinggi sehingga terbentuk endapan. Tar yang merupakan residu pada asap cair ini diperoleh setelah melewati proses distilasi. Tar hasil distilasi asap cair (dikenal juga sebagai bio-tar atau tar *bio-liquid*) telah muncul sebagai kandidat potensial untuk menggantikan sebagian atau seluruh aspal minyak bumi dalam perkerasan jalan yang umumnya disebut dengan bio-aspal. Tar tersusun atas turunan senyawa lignin dan termasuk fraksi tak larut yang terbentuk pada suhu tinggi. Tar ini merupakan produk samping dari proses pirolisis yang umumnya diharapkan terbentuk dalam jumlah sedikit karena dapat menurunkan kualitas *bio-oil* [6]. Tar termasuk fraksi berat dengan sifat fisik hitam pekat, kental, dan lengket terdapat kemiripan karakteristik dengan aspal minyak bumi [7]. Namun secara kimia, tar residu dari distilasi masih kurang optimal bila dijadikan sebagai filler maupun perekat bila langsung disubstitusi sepenuhnya. Kekurangan pada penggunaan tar ini sebagai bio-aspal pengganti aspal minyak bumi yaitu pada bagian sifat plastis dan kekuatannya. Hal ini yang menyebabkan diperlukan adanya formulasi

komposisi tar dan zat aditif untuk meningkatkan kualitas tar sebagai bio-aspal [8].

Ketersediaan sumber daya Indonesia memberikan potensi bahan organik seperti gondorukem sebagai zat aditif pada bio-aspal. Gondorukem merupakan produk samping atau residu dari getah pohon pinus yang melalui proses distilasi uap [9]. Gondorukem berbentuk padat dengan gumpalan keras seperti gula batu. Sifat dari gondorukem antara lain larut dalam pelarut organik, viskositas tinggi, dan daya rekat tinggi [10]. Gondorukem berbentuk padat pada suhu ruang dan memiliki sifat perekat dan pengeras yang baik. Penelitian Arlia dkk [11] menggunakan bahan tambah berupa gondorukem dalam campuran aspal di mana sifat aspal ini stabilitasnya rendah. Selain itu, produk lain hasil pirolisis yaitu *biochar* juga dapat dimanfaatkan sebagai zat aditif dalam memperkuat struktur aspal. *Biochar* merupakan produk hasil pirolisis limbah biomassa yang berfasa padat yang diperoleh dari proses pirolisis. Pirolisis dilakukan pada jenis pirolisis lambat dengan rentang suhu yang umumnya 400-500°C. Hal ini dikarenakan, *biochar* hasil pirolisis memiliki kandungan air <5% dan karbon >70%. Sehingga dalam penggunaannya *biochar* dan gondorukem yang sudah halus dapat larut dalam formulasi bio-aspal dan menambah kekokohan struktur dari aspal yang akan bertindak sebagai *binder* dan *filler*. Hal ini menunjukkan bahwa *biochar* dapat memberikan struktur kokoh pada setiap produk yang akan dibuat. Berdasarkan penelitian oleh Kumar et al. [12], *biochar* MFSC mampu untuk berinteraksi secara fisikokimia dengan bio-aspal sehingga dapat berperan sebagai agen binder yang efektif. Maka, diharapkan formulasi bio-aspal ini dapat menghasilkan aspal yang memiliki kualitas yang setara dengan aspal minyak bumi.

2. METODE

Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan jenis penelitian eksperimen dan deskriptif sebagai bentuk validasi hasil penelitian yang telah dilakukan. Penentuan hasil menggunakan metode kuantitatif dan kualitatif.

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini dilaksanakan pada beberapa Laboratorium diantaranya Laboratorium Rekayasa Proses Produk Industri Kimia, Jurusan Teknik Kimia, Universitas Sriwijaya untuk melakukan preparasi bahan baku, tahapan pirolisis, proses kondensasi dan distilasi. Tahapan selanjutnya berupa proses pencampuran tar *bio-oil* dengan campuran aspal untuk membentuk bio-aspal dilakukan pada Laboratorium Transportasi, Lalu Lintas dan

Perkerasan Jalan, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sriwijaya.

Variabel Penelitian

Adapun variabel yang terlibat serta menjadi tolak ukur dalam penelitian bio-aschargo mulai dari variabel bebas, variabel tetap hingga variabel terikat. Variabel bebas pada penelitian ini yang berdiri sendiri dan mempengaruhi variabel lain diantaranya jenis bahan aditif (gondorukem dan *biochar*) dan persentase komposisi bahan aditif (6 gram *biochar*; 6 gram gondorukem; 3 gram *biochar* dan 3 gram gondorukem). Variabel yang nilainya tetap pada penelitian ini yaitu total massa sampel sebanyak 30 gram terdiri atas 30% tar residu *bio-oil* dan 70% aspal minyak bumi. Variabel yang menjadi fokus hasil pengamatan dari pengaruh variabel lainnya yaitu hasil pengujian produk bio-aschargo yang terdiri dari pengujian penetrasi, berat jenis, daktilitas, titik lembek, serta titik bakar dan titik nyala aspal.

Alat dan Bahan

Beberapa peralatan utama yang digunakan untuk melaksanakan penelitian ini adalah rangkaian alat pirolisis, distilasi, mortar dan alu, ayakan, serta hot plate. Sedangkan bahan baku utama seperti tempurung kelapa dan gondorukem diperoleh melalui pengiriman domestik. *Biochar* diperoleh melalui proses pirolisis tempurung kelapa.

Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini secara garis besar digambarkan melalui bagan alir pada Gambar 1.

1) Preparasi Bahan Baku

Bahan baku yang terdiri atas limbah tempurung kelapa, aspal minyak bumi, dan gondorukem perlu dipersiapkan terlebih dahulu. Limbah tempurung kelapa dibersihkan dan di-size reduction hingga berukuran seragam, lalu dikeringkan di dalam oven selama 3 jam dengan suhu 105°C untuk mengurangi kadar airnya. Kemudian gondorukem dibersihkan lalu digerus hingga berbentuk serbuk halus. Sementara itu, aspal minyak bumi cukup dipanaskan hingga fasanya cair.

2) Pirolisis Limbah Tempurung Kelapa

Limbah tempurung kelapa yang sudah dikeringkan selanjutnya ditimbang sebanyak 5 kg, digunakan sebagai feed reaktor pada proses pirolisis selama 2-3 jam dengan temperatur 300-400°C hingga produk gas tidak terbentuk lagi. Hasil pirolisis berupa *biochar* dan *bio-oil* (raw liquid smoke) dikumpulkan. *Biochar* yang telah terbakar sempurna kemudian digerus hingga halus kemudian diayak hingga berukuran 50 mesh. Sementara itu, untuk

produk *bio-oil* disimpan untuk melewati proses distilasi pada tahap selanjutnya. Bagan alir proses pirolisis ditunjukkan oleh Gambar 2.

3) Distilasi *Bio-oil* Hasil Pirolisis

Tahap distilasi ini bertujuan untuk menguapkan komponen yang terikat dalam *bio-oil* hingga menyisakan tar dan residu lainnya yang berfraksi berat. Sebanyak 300 mL *bio-oil* dimasukkan ke dalam labu distilat yang sumber panasnya dari oli dengan temperatur 250°C selama 3-3,5 jam. Campuran dalam labu distilat menguap dan dikondensasikan dalam kondensor. Uap tersebut berubah fasa menjadi cairan yang merupakan fenol, air dan komponen pengikat lainnya. Sementara, residu yang tertinggal di labu distilat dan tidak teruapkan disebut dengan tar. Tar tersebut berwarna hitam pekat dan bertekstur lengket.

4) Tahap Pencampuran

Tahap pencampuran ini ialah tahap akhir untuk memproduksi bio-aspal. Tar dari residu hasil distilasi *bio-oil* ditimbang sebanyak 9 gr, sementara aspal minyak bumi yang telah dilelehkan juga ditimbang sebanyak 21 gr. Kemudian aditif gondorukem dan *biochar* juga ditimbang sesuai dengan variasi komposisi masing-masing aditif yaitu 6 gr gondorukem, 6 gr *biochar* serta 3 gr gondorukem dan 3 gr *biochar* untuk satu sampel sebanyak 30 gram total massa campuran tar dan aspal minyak bumi. Proses pencampuran dilakukan sembari dipanaskan agar setiap komponen tersebar merata dan dapat saling larut. Setelah campuran larut sempurna, dinginkan sebentar hingga sampel mengeras. Pencampuran dan pemanasan bio aspal ditunjukkan oleh Gambar 3.

5) Pengujian Produk

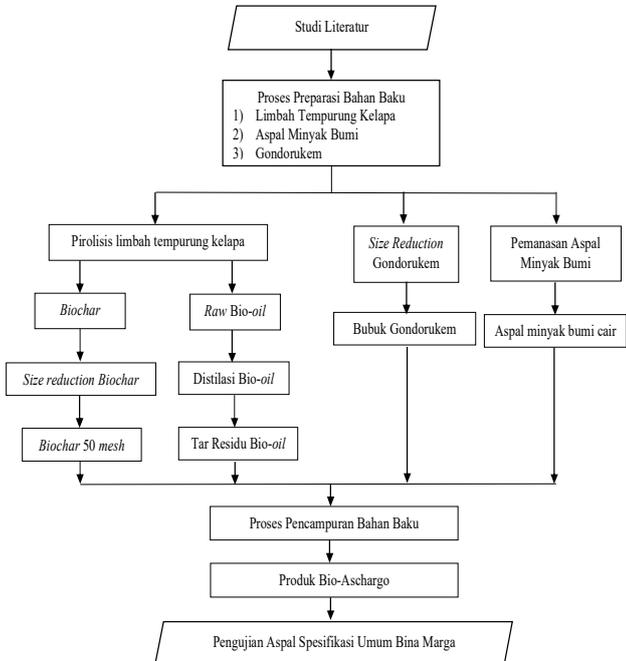
Ruang lingkup pengujian aspal spesifikasi umum bina marga no: 02/SE/Db/2018 Divisi 6 - perkerasan aspal adalah pengujian sifat-sifat material aspal berdasarkan 5 parameter. Pengujian yang terdiri atas penetrasi, berat jenis, daktilitas, titik lembek, dan titik bakar aspal. Perbandingan dan penentuan kualitas bio-aspal yang dihasilkan akan dibandingkan dengan spesifikasi Aspal Keras Pen 60/70.

Tabel 1. Spesifikasi aspal keras Pen 60/70

Jenis Pengujian	Metode	Persyaratan
Penetrasi, 25°C, 100 gr, 5 detik, 0.1 mm	SNI 06-2456-2011	60 – 70
Viskositas 135°C	SNI 06-6441-2000	385
Titik Lembek °C	SNI 2434:2011	≥ 48
Daktilitas pada	SNI 2432:2011	≥ 100

Jenis Pengujian	Metode	Persyaratan
25°C		
Titik Nyala (°C)	SNI 2433:2011	≥ 232
Berat Jenis (gr/cc)	SNI 2441:2011	≥ 100

(Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga No : 02/SE/Db/2018 Divisi 6- Perkerasan Aspal)



Gambar 1. Bagan alir penelitian

Matriks Penelitian

Berdasarkan penentuan variabel diperoleh hasil matriks penelitian dalam menemukan produk bio-aspal yang unggul sebagai berikut.

Tabel 2. Matriks penelitian bio-aspal

Sampel	Komposisi Bahan Baku			
	Aspal Minyak Bumi (%)	Tar Residu Bio-oil (%)	Biochar (gr)	Gondorukem (gr)
A ₁			0	0
A ₂	70	30	6	0
A ₃			0	6
A ₄			3	3



Gambar 2. Bagan alir proses pirolisis



Gambar 3. Pencampuran dan pemanasan bio-aspal

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setiap tahapan pada penelitian ini memberikan kontribusi untuk membentuk produk yang optimal. Tahap preparasi limbah tempurung kelapa yaitu pengeringan dapat menghilangkan kadar air sekitar 20% dari total massa awal limbah. Lalu *size reduction* dapat memperluas permukaan distribusi panas saat proses pirolisis. Maka dari itu, proses dekomposisi lignoselulosa atau pirolisis menjadi lebih mudah. Proses pirolisis pada penelitian ini dilakukan dengan rangkaian alat berikut.

Tahap pirolisis bahan baku sebanyak 5 kg limbah tempurung kelapa selama 2 jam pada temperatur 300-400°C, di mana pada rentang temperatur tersebut ialah temperatur yang optimal untuk menghasilkan produk pirolisis yang berkualitas baik, khususnya *bio-oil* dan *bio-char* [5]. Setelah reaksi dalam reaktor pirolisis berakhir, dihasilkan produk yang terdiri atas 1,8 kg *biochar*; 2 liter *bio-oil* dan *syngas* yang tidak dikumpulkan sebagai *losses*-nya. *Biochar* yang terbakar sempurna kemudian di-*size reduction* agar memperluas permukaan dan persebaran merata.



Gambar 4. Rangkaian alat pirolisis

Bio-oil dilanjutkan ke tahap distilasi untuk memperoleh *bio-oil* tanpa kandungan fenol maupun air hingga menyisakan *bio-oil* dan tar sebagai residunya. Total volume *bio-oil* yang diperoleh sebanyak 250 mL. Tar residu *bio-oil* yang diperoleh setelah proses distilasi sebanyak 17 gram yang merupakan fraksi berat namun konsistensinya tidak setinggi aspal minyak bumi. Hal ini disebabkan oleh struktur asal dalam menyusun hidrokarbon aromatik pada tar cenderung memiliki ikatan yang lebih longgar. Maka dari itu, sebagai langkah awal untuk melakukan substitusi bahan, diperlukan formulasi yang tepat dalam penambahan zat aditif baik *biochar* dan *gondorukem* pada campuran *bio-aspal*.

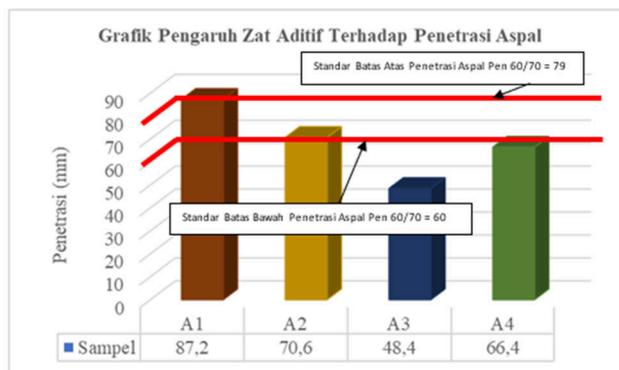


Gambar 5. Tar hasil residu distilasi *bio-oil*

Tahapan pencampuran setiap bahan baku dilakukan dengan mencairkan aspal minyak bumi dan tar residu distilasi *bio-oil*, lalu dicampurkan berdasarkan persentase total massa. Zat aditif dimasukkan ke dalam campuran tidak beracuan pada temperatur bahan, hal inilah yang menyebabkan persebarannya kurang merata. Sehingga produk yang terbentuk cenderung tidak stabil di beberapa titik yang ada. Secara kualitatif penambahan zat aditif ialah untuk meningkatkan sifat lembek tar residu hasil distilasi *bio-oil* menjadi lebih kokoh, tahan suhu tinggi dan tetap dapat berdeformasi plastis hingga harapannya dapat menggantikan aspal minyak bumi.

1) Analisis Penetrasi Bio-Aspal

Kekerasan suatu aspal dinyatakan melalui prosedur pengujian seberapa dalam dan cepat jarum penetrasi menembus sampel yang merujuk pada perubahan sifat viskoelastisitasnya [13]



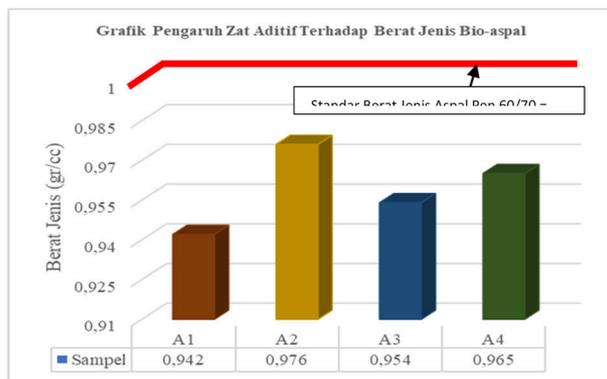
Gambar 6. Grafik pengaruh zat aditif terhadap penetrasi *bio-aspal*

Semakin kecil nilainya artinya tingkat ketahanan aspal terhadap beban semakin tinggi. Sampel A₃ memperoleh nilai penetrasi paling rendah disebabkan oleh *gondorukem* yang mengikat molekul aspal dan tar ke dalam rantai aromatikanya yang sulit untuk

diputuskan. Namun melalui Gambar 2. diperoleh bahwa hasil formulasi pada bio-aspal yang paling mendekati Aspal Keras Pen 60/70 ialah sampel A₂ dan A₄. Nilai ini dipengaruhi oleh penambahan biochar sebagai zat aditif. Peranan biochar ialah menjadi binder melalui pori dan luas permukaannya yang lebih besar, sehingga persebarannya dapat lebih merata di dalam aspal dan tar residu bio-oil. Selain itu, biochar memiliki kandungan *fixed carbon* dengan rantai aromatik dan alifatik sehingga ikatan yang terjadi antara aspal dan tar residu bio-oil cenderung lemah. Pada beberapa penelitian, bio-aspal memiliki viskositas yang rendah sehingga memungkinkan diperoleh nilai penetrasi yang tinggi [14]. Maka dari itu, sampel A₂ dan A₄ paling optimum memberikan tingkat kekerasan moderat namun dapat menahan beban dan mengurangi kerentanan terhadap suhu.

2) Analisis Berat Jenis Bio-Aspal

Nilai berat jenis adalah ukuran yang digunakan untuk menggambarkan seberapa padat atau berat suatu bahan dalam hubungannya dengan volume yang ditematinya [15].



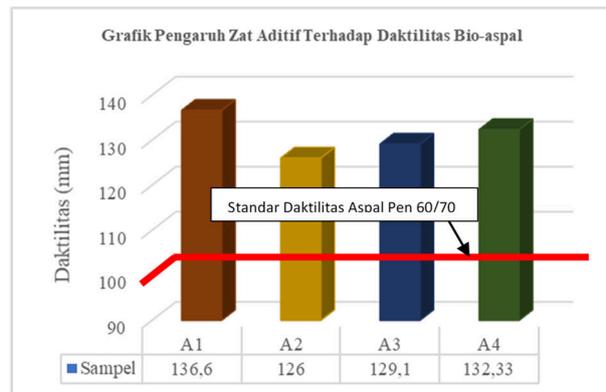
Gambar 7. Grafik pengaruh zat aditif terhadap berat jenis bio-aspal

Diperhatikan bahwa penambahan tar residu bio-oil, gendorukem dan biochar didalam campuran aspal menghasilkan nilai berat jenis yang lebih kecil. Semakin besar penggunaan gendorukem dan biochar maka semakin kecil nilai pori – pori udara dalam campuran. Kondisi ini disebabkan pori-pori udara yang telah diisi oleh aspal dan mineral lainnya. Peristiwa tersebut akan mempengaruhi nilai VMA (*Volume of The Air in Mintera Agregat*) yang menunjukkan presentase rongga dalam campuran. VIM ini merupakan salah satu properties penting dalam desain campuran aspal karna mempengaruhi sifat permeabilitas campuran perkerasan jalan. Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 tentang Spesifikasi Aspal Keras Pen 60/70 menyatakan nilai berat jenis ialah 1 gr/cc. Sehingga dalam penambahan zat aditif yang hampir mencapai spesifikasi adalah sampel A₂ dan A₄ karena penambahan gendorukem

dan biochar cenderung menyumbang viskositas yang tinggi. Penelitian Kumar et. al, menunjukkan bahwa *biochar* meningkatkan viskositas bio-aspal [16].

3) Analisis Daktilitas Bio-Aspal

Daktilitas mencerminkan plastisitas aspal [17]. Dalam bak gliserin cair suhu konstan pada 10°C, sampel yang telah dibuat menjalani uji daktilitas.

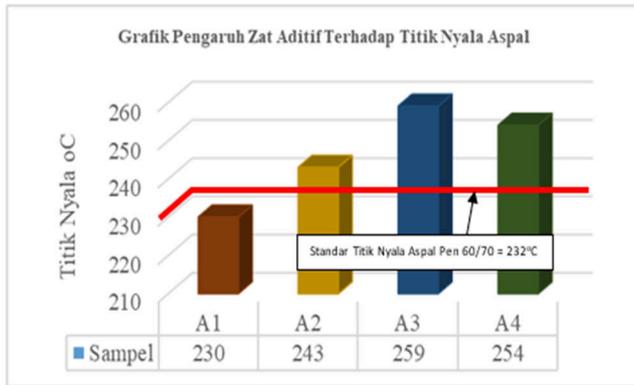


Gambar 8. Grafik pengaruh zat aditif terhadap daktilitas bio-aspal

Daktilitas aspal murni adalah 14 cm. Hasil daktilitas sampel aspal lainnya ditampilkan dalam Gambar 4.3. Daktilitas pada sampel A₁ lebih rendah daripada aspal murni, tanpa memandang kandungan gendorukem dan biochar. Tar residu bio-oil dapat Hasil dari pengujian yang dilakukan menunjukkan bahwa pengurangan kandungan aspal murni didalam campuran aspal dapat mengurangi daktilitas aspal. Fakta ini terutama karena gendorukem dan biochar meningkatkan konsistensi aspal dan berdampak buruk pada ketahanan retak aspal. Namun, tar residu bio-oil dapat meningkatkan kandungan minyak dan komponen ringan dalam aspal, yang dapat efektif memperkuat deformasi plastis aspal A₁ pada suhu rendah. Dari hasil penelitian yang didapat juga dapat menunjukkan bahwa kandungan biochar dan gendorukem dalam campuran aspal dapat mengurangi daktilitas aspal. Faktanya, ini terutama disebabkan oleh biochar dan gendorukem meningkatkan konsistensi aspal dan mengurangi ketahanan aspal terhadap. Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 tentang Spesifikasi Aspal Keras Pen 60/70 menyatakan nilai daktilitas ialah 10 cm sehingga dapat disimpulkan semua sampel memenuhi standar.

4) Analisis Titik Nyala Bio-Aspal

Tingkat kecenderungan suatu aspal untuk terbakar pada temperatur dan api tertentu menjadi tolak ukur dalam penentuan titik nyala aspal [18].

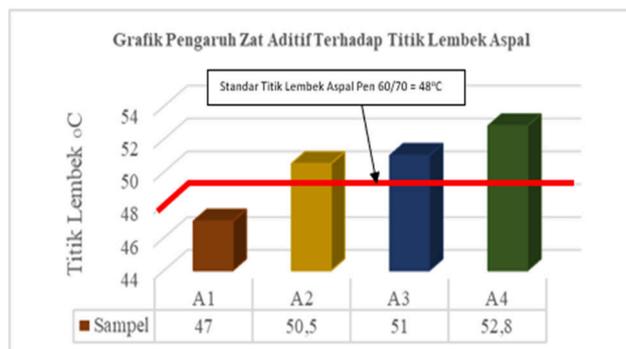


Gambar 9. Grafik pengaruh zat aditif terhadap titik nyala bio-aspal

Spesifikasi titik nyala Aspal Keras Pen 60/70 ialah $\geq 232^{\circ}\text{C}$. Hasil pengujian ini akan seiring dengan hasil pada titik lembek aspal. Titik nyala tertinggi diperoleh pada sampel A4 dimana titik nyala dari gondorukem sebesar $33\text{-}46^{\circ}\text{C}$ lebih tinggi dibandingkan dengan biochar sekitar 40°C . Sehingga saat ditambahkan dengan campuran aspal dan tar residu bio-oil sampel yang memenuhi spesifikasi ialah A4 dan A5. Hal ini dipengaruhi oleh rantai karbon yang berada pada kedua zat aditif. Biochar terdiri atas rantai karbon aromatic dan alifatik yang pendek sehingga titik nyala yang diperoleh lebih rendah dibandingkan rantai karbon aromatic pada gondorukem. Maka, bila zat aditif digabungkan titik nyala dari sampel A5 dapat memenuhi bahkan melebihi spesifikasi Aspal Keras Pen 60/70 yaitu mencapai 250°C . Sehingga, kualitas dari bio-aspal yang dihasilkan dapat mengurangi kerentanan terhadap suhu.

5) Analisis Titik Lembek Bio-Aspal

Perubahan aspal menjadi lembek disebut dengan titik lembek aspal, di mana aspal mulai menjadi lembek pada titik suhu tertentu.



Gambar 10. Grafik pengaruh zat aditif terhadap titik lembek bio-aspal

Berdasarkan data hasil, sampel yang menghasilkan titik lembek tertinggi pada A4 dengan aditif biochar dan gondorukem. Penambahan aditif

gondorukem cenderung menghasilkan bio-aspal dengan titik lembek yang tinggi karena gondorukem mengandung zat-zat seperti resin alam dan terpenoid yang memiliki sifat keras serta memiliki titik leleh pada $88\text{-}99^{\circ}\text{C}$. Ketika gondorukem ditambahkan, maka ketahanan aspal terhadap deformasi plastis pada suhu tinggi meningkat.

Hal ini mengakibatkan titik lembek aspal naik menjadi lebih kaku pada suhu tinggi. Begitu pula dengan biochar yang memiliki pori-pori dapat menyerap minyak aspal dan meningkatkan stabilitas campuran. Aspal murni nilainya menurun saat ditambahkan dengan tar karena senyawa di dalamnya cenderung memiliki ikatan yang lebih longgar dan struktur molekuler yang kurang padat dibandingkan aspal minyak bumi. Sehingga titik lembek tar jauh lebih rendah dan ketika ditambahkan ke campuran aspal menyebabkan penurunan titik lembeknya. Maka, sampel A3 dan A4 paling optimum dalam ketahanan suhu tinggi karena mengandung gondorukem dan biochar.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa adanya potensi dalam memanfaatkan sumber baru terbarukan dalam memperoleh aspal. Penambahan zat aditif biochar ke dalam campuran menyumbangkan kekokohan pada nilai penetrasi mencapai 60/70 serta berat jenisnya yang hampir menyerupai, hal ini disebabkan oleh permukaan pori-pori dan luas permukaan yang besar untuk membentuk ikatan yang kokoh.

Gondorukem memberikan ketahanan aspal terhadap suhu yang tinggi yang mana sampel A2 titik lembek dan nyala mencapai 51°C dan 259°C . namun sifat kegetasan bahan ini sangat kecil hingga mudah untuk hancur. Produk A4 hampir memenuhi kelima parameter, dengan nilai penetrasi 60/70, daktilitas 132,33 mm, titik lembek $52,8^{\circ}\text{C}$, titik nyala 254°C , berat jenis yang belum memenuhi yaitu 0,965 gr/cc.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan lancar. Kami juga berterima kasih kepada seluruh rekan-rekan di Laboratorium Rekayasa Proses Produk Industri Kimia Jurusan Teknik Kimia serta Laboratorium Transportasi, Lalu Lintas dan Perkerasan Jalan Jurusan Teknik Sipil Universitas Sriwijaya yang telah memberikan kami bantuan teknis dan diskusi yang konstruktif.

REFERENSI

- [1] L. Parinduri, T. Parinduri, K. Kunci, E. Fosil, E. Biomassa, dan K. Energi, "Konversi Biomassa Sebagai

- Sumber Energi Terbarukan”, 2020. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.dosenpendidikan>.
- [2] S. Sisbudi Harsono, “Inovasi Teknologi Pembuatan Asap Cair Dari Tempurung Kelapa Di Kabupaten Situbondo”, *Warta Pengabdian*, 2018.
- [3] M.Y. Alief Samboro, L. Monica Hadi Kususma, A. Yulardi, P. Hakim, “Pengolahan Limbah Batok Kelapa Muda Menggunakan Teknik Press sebagai Material Produk Seri Lampu”, 2023.
- [4] B. Dawami Afrah, M. Ihsan Riady, J. Patricia Arshada, R. Rimadhina, E. Oktarinasari, “Perancangan Pirolisis Kayu Karet (*Hevea brasiliensis*) dan Tempurung Kelapa (*Cocos nucifera*) Menggunakan Rancangan Alat Berbasis *Electric Furnace*”, 2023.
- [5] S. Jamilatun, J. Pitoyo, A. Puspitasari, D. Sarah, “Pyrolysis of Palm Oil Bunches to Produce Liquid Fuel, Gas, Water Phase and Charcoal”, *National Research Seminar LPPM UMJ*, 1–7 (2022).
- [6] A. S. C. Pratama and K. Sa’diyah, “Pengaruh Jenis Biomassa Terhadap Karakteristik Asap Cair Melalui Metode Pirolisis”, *Distilat: J. Tekn. Sep.*, vol. 8, no. 1, pp. 36–44, Mar. 2022.
- [7] D. Sarwono, S. Jauhari, A. Raspati, L. J. Raya, dan F. Teknik, “Karakteristik Tar Hasil Destilasi Tempurung Kelapa dengan Modifikasi Penam-bahan Asbuton Emulsi Ditinjau dari Spesifikasi Aspal Produk Pertamina 1),” 2015.
- [8] S. Wahono, S. Sunarjono, R. S. Harnaeni, and I. Setiyaningsih, “Investigasi Karakteristik Tar Tempurung Kelapa Sebagai Bahan Ikat Campuran Beraspal,” *Simp. Nas. RAPI XVIII – 2019 FT UMS*, pp. 316–321, 2019.
- [9] T. Ardiyan Akbar dan N. Iskandar, “Pengaruh Fraksi Massa Serat Terhadap Kekuatan Tegangan Geser Komposit Berpenguat Serat Rami dengan Matriks Gondorukem,” 2022.
- [10] T. Ardiyan Akbar dan N. Iskandar, “Pengaruh Fraksi Massa Serat Terhadap Kekuatan Tegangan Geser Komposit Berpenguat Serat Rami dengan Matriks Gondorukem” 2022.
- [11] L. Arlia, S. M. Saleh, dan R. Anggraini, “Karakteristik Campuran Aspal Porus dengan Substitusi Gondorukem Pada Aspal Penetrasi 60/70”, 2018
- [12] A. Kumar *dkk.*, “Multifaceted applications of biochar in environmental management: a bibliometric profile,” 1 Desember 2023, *Springer*. doi: 10.1007/s42773-023-00207-z.
- [13] E. W. Indriyati, “Pengaruh Asbuton Murni Terhadap Indeks Penetrasi Aspal,” 2017.
- [14] Z. Zhang, Y. Fang, J. Yang, dan X. Li, “A comprehensive review of bio-oil, bio-binder and bio-asphalt materials: Their source, composition, preparation and performance,” 1 April 2022, *Chang’an University*. doi: 10.1016/j.jtte.2022.01.003.
- [15] A. L. Toruan, O. H. Kaseke, L. F. Kereh, dan T. K. Sendow, “Pengaruh Porositas Agregat Terhadap Berat Jenis Maksimum Campuran,” 2013.
- [16] A. Kumar, R. Choudhary, R. Narzari, R. Kataki, dan S. K. Shukla, “Evaluation of bio-asphalt binders modified with biochar: a pyrolysis by-product of Mesua ferrea seed cover waste,” *Cogent Eng.*, vol. 5, no. 1, hlm. 1–15, Jan 2018, doi: 10.1080/23311916.2018.1548534.
- [17] M. Mukhlis, F. Adibroto, S. Ali, A. Fauzi, dan I. Padilah, “Kinerja Campuran Asphalt Concrete Wearing Course Menggunakan Aspal Modifikasi Dengan Limbah Plastik,” *Teras Jurnal : Jurnal Teknik Sipil*, vol. 12, no. 1, hlm. 267, Apr 2022, doi: 10.29103/tj.v12i1.648.
- [18] I. D. M. A. Karyawan, N. N. Kencanawati, dan D. Rohani, “Rekonstruksi Tadulako Karakteristik Aspal Buton Ekstraksi yang Dimodifikasi dengan Oli Bekas dan Plastik HDPE”, [Daring]. Tersedia pada: <https://new.jurnal.untad.ac.id/index.php/renstra>