

Analisis Karakteristik Tar dari Hasil Pirolisis Sekam Padi dan Serbuk Gergaji Kayu Jati sebagai Sumber Energi Alternatif

Analysis of Tar Characteristics from the Pyrolysis of Rice Husk and Teak Wood Sawdust as Alternative Energy Sources

Durain Parmanoan¹, Maya Sarah^{*2}, Laila Apriani², Oner Silalahi², Seri Maulina², Isti Madinah Hasibuan²

¹Departemen Teknik Mesin, Universitas Negeri Padang, Jalan Prof. Dr. Hamka, Padang, 25163, Indonesia

²Departemen Teknik Kimia, Universitas Sumatera Utara, Jalan Almamater Kampus USU, Medan, 20155, Indonesia

*Email: Maya3@usu.ac.id

Article history:

Diterima : 14 November 2025

Direvisi : 11 Maret 2026

Disetujui : 24 Juli 2026

Mulai online : 29 September 2026

E-ISSN: 2337-4888

How to cite:

Durain Parmanoan, Maya Sarah, Laila Apriani, Oner Silalahi, Seri Maulina, Isti Madinah Hasibuan. (2026). Analisis Karakteristik Tar dari Hasil Pirolisis Sekam Padi dan Serbuk Gergaji Kayu Jati sebagai Sumber Energi Alternatif. Jurnal Teknik Kimia USU, 15(2), 112-122.

ABSTRAK

Indonesia masih bergantung pada energi fosil, sehingga diperlukan pengembangan sumber energi alternatif yang dapat diperbarui. Biomassa merupakan salah satu sumber energi alternatif yang berpotensi dikembangkan, antara lain limbah sekam padi dan serbuk gergaji kayu jati. Kedua bahan ini mengandung selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang dapat dikonversi menjadi tar melalui proses pirolisis. Penelitian ini bertujuan menentukan karakteristik tar hasil pirolisis sekam padi dan serbuk gergaji kayu jati sebagai sumber energi alternatif. Proses pirolisis dilakukan pada temperatur 600 °C dengan variasi waktu 60, 120, dan 150 menit. Analisis meliputi *yield*, densitas, viskositas, nilai kalor, bilangan asam, kadar air, serta komposisi kimia tar. *Yield* tertinggi diperoleh sebesar 7,98%; kadar air 9,22%; densitas 0,893 g/mL; viskositas 3,90 cSt; bilangan asam 2,90%; dan nilai kalor 4.329,485 kal/g. Hasil analisis GC-MS menunjukkan bahwa senyawa penyusun tar dari pencampuran bahan baku sekam padi dan serbuk gergaji kayu jati didominasi oleh golongan senyawa fenol.

Kata kunci: biomassa, pirolisis, sekam padi, serbuk gergaji kayu jati, tar

ABSTRACT

Indonesia still relies heavily on fossil energy, therefore, the development of renewable alternative energy sources is essential. Biomass is one of the potential renewable energy sources that can be further developed, including rice husk and teak wood sawdust waste. Both materials contain cellulose, hemicellulose, and lignin, which can be converted into tar through the pyrolysis process. This study aims to determine the characteristics of tar produced from the pyrolysis of rice husk and teak wood sawdust as an alternative energy source. The pyrolysis process was conducted at a temperature of 600°C with varying durations of 60, 120, and 150 minutes. The analyses included yield, density, viscosity, calorific value, acid number, moisture content, and chemical composition of the tar. The highest yield obtained was 7.98%; moisture content 9.22%; density 0.893 g/mL; viscosity 3.90 cSt; acid number 2.90%; and calorific value 4.329,485 kal/g. The GC-MS analysis results showed that the tar compounds derived from the mixture of rice husk and teak wood sawdust were predominantly composed of phenolic compounds.

Keyword: biomass, pyrolysis, rice husk, teak wood sawdust, tar



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International.
<https://doi.org/10.32734/jtk.v15i2.23502>

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara yang memiliki kekayaan sumber daya energi, baik yang tergolong *non-renewable resources* maupun *renewable resources*. Sumber energi fosil, seperti batu bara dan minyak bumi, termasuk ke dalam kategori *non-renewable resources* karena ketersediaannya terbatas dan tidak dapat diperbarui dalam waktu singkat. Ketidakseimbangan antara ketersediaan dan kebutuhan energi menyebabkan harga minyak bumi terus meningkat. Berdasarkan data Kementerian ESDM (2019), cadangan minyak bumi nasional telah menurun sebesar 49,75% dibandingkan tahun 2019, sedangkan gas bumi mengalami penurunan sebesar 42,98% dibandingkan tahun 2018 [1]. Selain itu, menurut Badan Geologi Kementerian ESDM (2021), Indonesia memiliki sumber daya batu bara sebesar 143,73 miliar ton dengan cadangan sekitar 38,80 miliar ton [2]. Hingga saat ini, Indonesia masih sangat bergantung pada energi fosil untuk memenuhi kebutuhan energinya, sehingga pengembangan sumber energi alternatif yang dapat diperbarui menjadi sangat penting.

Salah satu sumber energi terbarukan yang berpotensi untuk dikembangkan adalah biomassa. Biomassa dapat berasal dari berbagai sumber, seperti limbah perkebunan, hasil hutan, peternakan, maupun limbah industri. Penelitian mengenai pemanfaatan biomassa sebagai sumber energi telah banyak dilakukan sebelumnya. Salah satu contohnya adalah konversi biomassa menjadi bahan bakar briket [3]. Selain itu, biomassa juga dapat diolah menjadi berbagai bentuk energi terbarukan lainnya, seperti bio-oil, biogas, bioetanol, dan biodiesel [4].

Limbah biomassa yang hingga kini belum dimanfaatkan secara optimal antara lain sekam padi dan serbuk gergaji kayu. Padi merupakan tanaman pangan utama yang ditanam secara periodik di berbagai daerah di Indonesia, sehingga sekam padi dapat dengan mudah ditemukan di hampir seluruh provinsi. Sekam padi tergolong biomassa lignoselulosa yang tersusun atas sekitar 50% selulosa, 25–30% lignin, dan 15–20% silika. Melalui proses pirolisis, limbah pertanian organik seperti sekam padi dapat dikonversi menjadi produk bernilai tambah, seperti tar atau bio-oil, yang berpotensi menjadi sumber energi alternatif untuk mengatasi krisis energi [5]. Demikian pula, serbuk gergaji kayu juga memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan tar melalui proses pirolisis karena merupakan biomassa lignoselulosa yang tersusun atas selulosa (35–60%), hemiselulosa (15–35%), dan lignin (15–30%) [6].

Pirolisis merupakan salah satu metode konversi termokimia yang berperan penting dalam menguraikan biomassa lignoselulosa menjadi tiga fraksi utama, yaitu gas (*biogas*), cairan (*bio-oil*), dan padatan (*biochar*) [7]. Proses pirolisis berlangsung melalui dekomposisi termal biomassa pada suhu tinggi dalam kondisi tanpa oksigen atau dengan kandungan oksigen yang sangat rendah [8]. Sebelum pirolisis dilakukan, ukuran partikel biomassa biasanya diperkecil untuk memperluas area kontak dan mempermudah terjadinya reaksi di dalam reaktor pemanas [5].

Produk cair yang dihasilkan dari proses pirolisis biomassa terdiri atas *bio-oil* dan tar, yang mengandung beragam senyawa organik, seperti senyawa alifatik dan aromatik, fenol, aldehida, levoglukosan, hidroksiasetaldehida, hidrokarbon, serta air. Tar merupakan fraksi cair berwarna gelap dengan viskositas tinggi yang tersusun terutama dari hidrokarbon dan karbon bebas. Dibandingkan dengan tar, *bio-oil* memiliki kandungan senyawa organik dengan berat molekul yang relatif lebih rendah, sehingga menunjukkan karakteristik fisik dan kimia yang berbeda [9]. Tar memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan bakar pembakaran, bahan bakar mesin diesel, maupun *combustion turbine* [10]. Tar dihasilkan melalui proses depolimerisasi dan dekomposisi komponen penyusun biomassa, yaitu selulosa, hemiselulosa, dan lignin [11].

Berbagai penelitian telah melaporkan bahwa tar dapat diproduksi dari berbagai jenis biomassa melalui proses pirolisis. Sebagai contoh, pirolisis jerami gandum pada suhu 400–800°C menghasilkan rendemen tar maksimum sebesar 32,82% pada suhu 700°C, yang menunjukkan bahwa suhu pirolisis berperan penting terhadap pembentukan tar [12]. Sementara itu, pirolisis sekam padi, serbuk gergaji kayu zoita, dan serbuk gergaji kayu pinus pada suhu 500°C menghasilkan rendemen tar masing-masing sebesar 1,8%, 7,4%, dan 4,0%. Tar yang dihasilkan memiliki kandungan karbon yang relatif tinggi, yaitu 60,3–62,2%, serta kandungan oksigen yang lebih rendah, yaitu 28,8–31,6%, dibandingkan dengan biomassa asalnya. Selain itu, komposisi tar didominasi oleh senyawa aromatik, terutama senyawa fenolik dengan proporsi lebih dari 50%, sehingga menunjukkan potensi yang baik sebagai bahan bakar maupun sebagai bahan baku untuk menghasilkan produk kimia bernilai tambah [13]. Pengembangan energi terbarukan saat ini terus dilakukan untuk menjamin ketersediaan energi di masa depan [14]. Dalam konteks ini, biomassa secara luas dianggap sebagai salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki potensi besar untuk dikembangkan [15].

2. Metode

Bahan baku utama yang digunakan dalam studi ini adalah sekam padi dan serbuk gergaji kayu jati. Sekam padi diperoleh dari limbah pertanian, sedangkan serbuk gergaji kayu jati diperoleh dari limbah industri mebel. Sekam padi dan serbuk gergaji kayu jati dikeringkan di bawah sinar matahari hingga kadar airnya rendah

sebelum proses pirolisis. Pengeringan bertujuan untuk meningkatkan efisiensi proses pirolisis. Kadar air bahan baku sebaiknya dijaga di bawah 10% karena dapat menghasilkan produk cair dengan kadar air yang masih berada pada kisaran normal (15-25%) [16]. Selanjutnya, bahan baku ditimbang hingga mencapai massa total 1000 g sesuai dengan rasio campuran yang telah ditentukan, yaitu 300:700, 500:500, dan 700:300 (sekam padi:gergaji kayu jati). Ukuran bahan baku yang digunakan adalah sekam padi dengan panjang 5-10 mm dan lebar 2,5-5 mm [17], sedangkan ukuran partikel serbuk gergaji kayu jati berkisar 0,25-2,00 mm [18]. Bahan kimia yang digunakan meliputi akuades, alkohol 96%, heksana, indikator fenolftalein, dan kalium hidroksida (KOH).

Proses pirolisis dilakukan menggunakan reaktor pirolisis pada suhu tetap 600°C [19] dengan variasi waktu reaksi 60, 120, dan 150 menit. Sebelum penelitian utama, telah dilakukan percobaan awal menggunakan waktu pirolisis 180 menit. Namun, pada kondisi tersebut tidak diperoleh produk tar yang dapat dikondensasikan, sehingga waktu maksimum penelitian ditetapkan hingga 150 menit. Campuran sekam padi dan serbuk gergaji kayu jati dimasukkan ke dalam reaktor sesuai dengan rasio perlakuan, kemudian dipanaskan dalam kondisi minim oksigen sehingga terjadi dekomposisi termal biomassa. Uap hasil pirolisis dialirkan menuju kondensor dan ditampung dalam wadah penampung sebagai produk air hasil kondensasi. Produk cair tersebut didiamkan selama 24 jam hingga terbentuk pemisahan antara fraksi asap cair dan fraksi tar. Selanjutnya, fraksi tar dipisahkan dan disaring menggunakan kertas saring sebelum dilakukan karakterisasi. Karakterisasi tar dilakukan berdasarkan parameter mutu bahan bakar yang mengacu pada SNI 7182:2005, meliputi *yield*, densitas, viskositas, nilai kalor, bilangan asam, kadar air, dan komposisi senyawa kimia. Skema rangkaian alat pirolisis ditunjukkan pada Gambar 1, sedangkan diagram alir prosedur penelitian ditunjukkan pada Gambar 2. Penelitian diawali dengan tahap persiapan bahan baku, dilanjutkan dengan proses pirolisis menggunakan variasi rasio bahan dan waktu reaksi, kemudian diakhiri dengan karakterisasi tar yang dihasilkan.

2.1. Analisis Yield

Yield tar dihitung berdasarkan perbandingan massa tar yang diperoleh terhadap massa biomassa awal menggunakan Persamaan (1).

$$Y = \frac{m_t}{m_b} \times 100\% \quad (1)$$

dengan Y adalah *yield* tar (%), m_t adalah massa tar yang diperoleh (g), dan m_b adalah massa biomassa awal (g).

2.2. Analisis Densitas

Densitas tar ditentukan menggunakan piknometer 10 mL. Piknometer kosong ditimbang, kemudian diisi penuh dengan sampel tar dan ditimbang kembali menggunakan neraca digital. Densitas dihitung menggunakan Persamaan (2).

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2)$$

dengan ρ adalah densitas tar (g/mL), m adalah massa tar (g), dan V adalah volume tar (mL).

2.3. Analisis Viskositas

Viskositas tar diukur menggunakan viskometer Ostwald. Akuades digunakan sebagai fluida standar untuk kalibrasi. Sampel dihisap hingga melewati tanda batas atas, kemudian dibiarkan mengalir secara gravitasi hingga melewati tanda batas bawah sambil dicatat waktu alirnya. Viskositas tar dihitung menggunakan Persamaan (3).

$$\eta_t = \frac{t_t \rho_t}{t_a \rho_a} \eta_a \quad (3)$$

dengan η_t adalah viskositas tar, t_t adalah waktu alir tar (s), ρ_t adalah densitas tar (kg/m³), t_a adalah waktu alir air (s), ρ_a adalah densitas air (kg/m³), dan η_a adalah viskositas air standar.

2.4. Analisis Nilai Kalor

Nilai kalor tar dianalisis menggunakan bomb calorimeter tipe SDAC6000 dengan volume bomb 250 mL dan tegangan operasi 220 V di Laboratorium Motor Bakar, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara. Sampel sebanyak 100-500 mg dimasukkan ke dalam cawan pembakaran, kemudian dibakar di dalam ruang bomb calorimeter hingga diperoleh nilai kalor yang ditampilkan oleh alat.

2.5. Analisis Bilangan Asam

Bilangan asam dianalisis menggunakan metode titrasi asam-basa yang dimodifikasi berdasarkan prinsip penentuan bilangan asam. Sampel tar sebanyak 3-4 g dimasukkan ke dalam Erlenmeyer, kemudian ditambahkan 50 mL campuran alkohol 96% dan heksana serta 3-4 tetes indikator fenolftalein. Larutan dititrasi menggunakan larutan KOH 0,1038 N hingga terbentuk warna merah muda permanen. Bilangan asam dihitung menggunakan Persamaan (4).

$$AN = \frac{V \times N \times 56,1}{m} \quad (4)$$

dengan AN adalah bilangan asam (mg KOH/g), V adalah volume larutan KOH yang digunakan (mL), N adalah normalitas larutan KOH (N), dan m adalah massa sampel (g).

2.6. Analisis Kadar Air

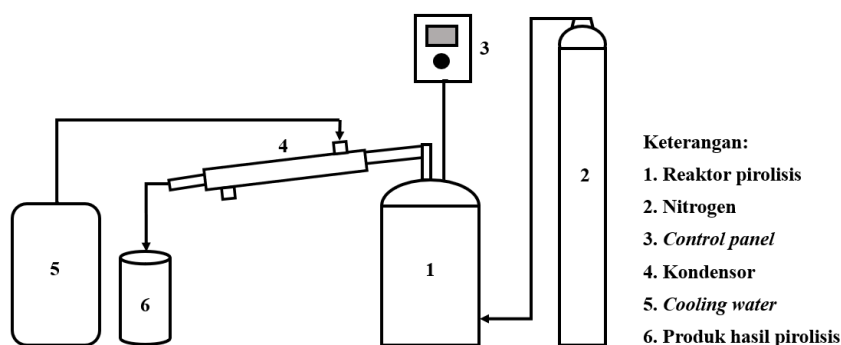
Kadar air ditentukan menggunakan metode oven. Sampel tar sebanyak 10 g dimasukkan ke dalam cawan kristalisasi yang telah diketahui massanya, kemudian dikeringkan pada suhu 105°C hingga berat konstan. Setelah didinginkan hingga suhu ruang, sampel ditimbang kembali dan kadar air dihitung menggunakan Persamaan (5).

$$\text{Kadar Air} = \frac{W_1 - W_3}{W_2} \times 100\% \quad (5)$$

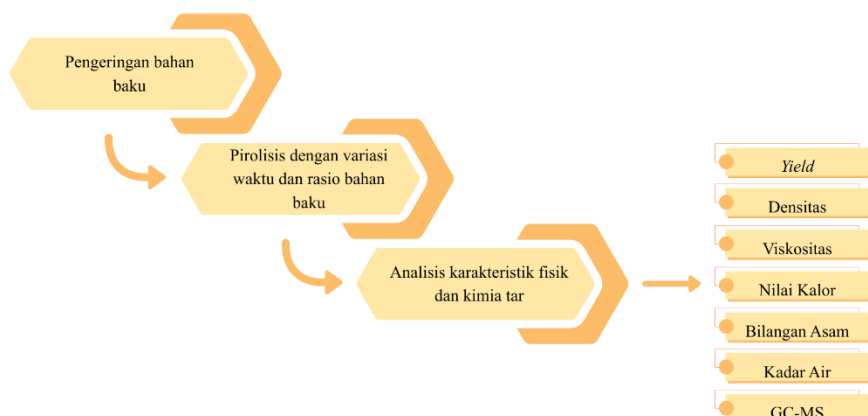
dengan W_1 adalah massa cawan dan sampel sebelum oven (g), W_2 adalah massa sampel (g), dan W_3 adalah massa cawan dan sampel setelah oven (g).

2.7. Analisis GC-MS

Komponen kimia penyusun tar diidentifikasi menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS). Sampel diinjeksi ke dalam sistem GC-MS, dipisahkan berdasarkan volatilitas dan interaksi dengan kolom kromatografi, kemudian diidentifikasi berdasarkan spektrum massa yang dibandingkan dengan mass spectral library untuk menentukan senyawa dominan dalam tar.



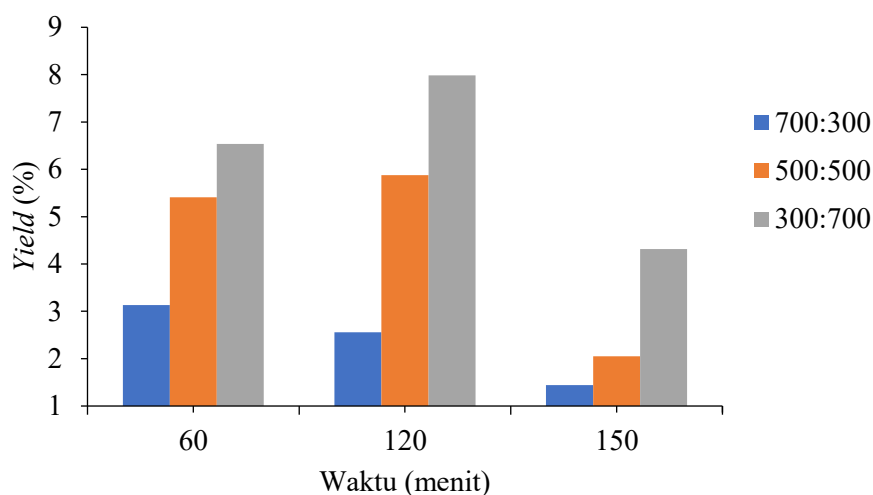
Gambar 1. Skema rangkaian alat pirolisis



Gambar 2. Diagram alir tahapan penelitian pirolisis sekam padi dan serbuk gergaji kayu jati

3. Hasil

Analisis *yield* tar dilakukan untuk mengetahui jumlah tar yang dihasilkan dari proses pirolisis dengan variasi jenis bahan baku dan waktu reaksi. Nilai *yield* tar ditentukan menggunakan neraca digital dengan membandingkan berat tar yang terbentuk terhadap berat awal bahan baku yang digunakan. Hasil analisis *yield* tar berdasarkan variasi bahan baku dan waktu pirolisis ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. *Yield* tar pada berbagai variasi bahan baku dan waktu pirolisis

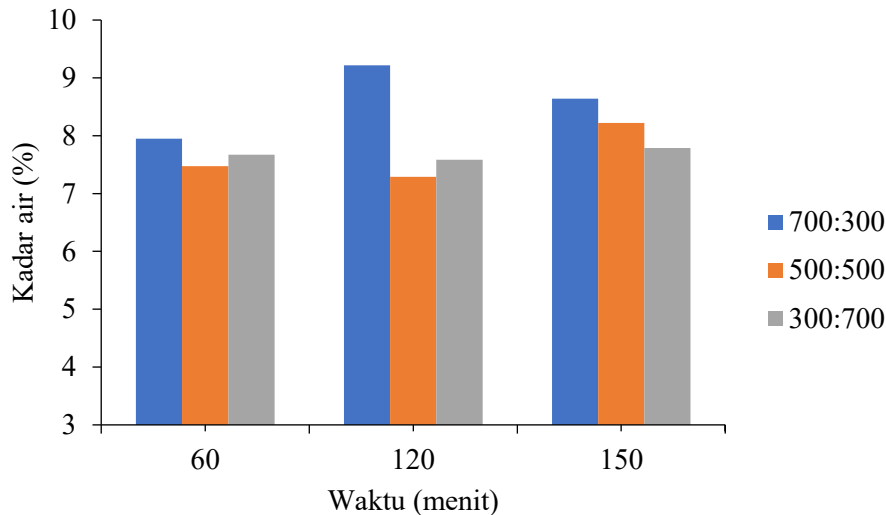
Berdasarkan Gambar 3, *yield* tar tertinggi diperoleh pada proses pirolisis dengan variasi bahan baku 300 g sekam padi : 700 g serbuk gergaji kayu jati pada waktu 120 menit dan suhu 600 °C, yaitu sebesar 7,984%. Sebaliknya, *yield* tar terendah diperoleh pada perbandingan bahan baku 700 g sekam padi : 300 g serbuk gergaji kayu jati dengan waktu pirolisis 150 menit sebesar 1,442%. Semakin lama waktu proses pirolisis, semakin banyak ikatan kimia dalam biomassa yang terurai, sehingga jumlah produk yang terbentuk, termasuk tar, cenderung meningkat [10]. Namun, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa *yield* tar hanya meningkat hingga mencapai titik optimum pada waktu pirolisis 120 menit, kemudian menurun pada waktu 150 menit untuk seluruh variasi bahan baku. Pola ini menunjukkan bahwa semakin lama waktu pirolisis, proses degradasi termal semakin sempurna hingga titik tertentu, yang menghasilkan lebih banyak tar. Durasi pirolisis yang lebih lama mendukung dekomposisi lignin menjadi senyawa hidrokarbon dengan efisiensi yang lebih tinggi. Namun demikian, pada waktu pirolisis yang terlalu lama, dapat menyebabkan degradasi termal berlebih yang menurunkan mutu tar serta memicu terbentuknya produk sampingan yang tidak diinginkan. Oleh sebab itu, penentuan waktu pirolisis yang optimal menjadi aspek krusial untuk memperoleh *yield* tar maksimum dengan kualitas yang baik.

Variasi komposisi bahan baku juga memengaruhi hasil yang diperoleh, di mana peningkatan proporsi serbuk gergaji kayu jati cenderung menghasilkan *yield* tar yang lebih tinggi dibandingkan campuran dengan kandungan sekam padi yang lebih besar. Fenomena ini dipengaruhi oleh perbedaan karakteristik penyusun kedua biomassa. Saires dkk. (2024) melaporkan bahwa jenis biomassa berpengaruh terhadap distribusi produk pirolisis. Pada penelitian tersebut, serbuk gergaji kayu pinus (PW) dan serbuk gergaji kayu zoita (ZW) menghasilkan *yield* tar masing-masing sebesar 4,0% dan 7,4% (berat), sedangkan sekam padi (*rice husk*) hanya menghasilkan *yield* tar sebesar 1,8% (berat). Perbedaan tersebut dikaitkan dengan tingginya kandungan abu pada sekam padi sehingga menghasilkan *char* dalam jumlah yang lebih besar dibandingkan biomassa berkayu. Selain itu, tingginya kandungan selulosa pada biomassa berkayu turut berkontribusi terhadap peningkatan pembentukan produk cair selama proses pirolisis [13].

Kandungan abu pada kedua biomassa memang menunjukkan perbedaan yang cukup besar. Sekam padi memiliki kandungan abu sekitar 15-20% (basis kering) [20], sedangkan biomassa kayu keras (*hardwood*), termasuk serbuk gergaji kayu jati, umumnya memiliki kandungan abu kurang dari 1% [21]. Selain itu, penelitian biopellet berbahan 100% serbuk gergaji kayu jati melaporkan kadar abu sebesar 2,76% [22], yang tetap jauh lebih rendah dibandingkan sekam padi. Menurut Yildiz dkk. (2015), kandungan abu berperan dalam memicu *thermal cracking* uap hasil pirolisis sehingga meningkatkan pembentukan gas dan *biochar*, namun menurunkan *yield* produk cair. Penelitian tersebut juga menunjukkan bahwa keberadaan abu menurunkan *yield* *bio-oil* sekitar 2% berat dan meningkatkan pembentukan gas yang tidak terkondensasi sekitar 4% berat [23]. Oleh karena itu, peningkatan proporsi serbuk gergaji kayu jati yang memiliki kandungan abu lebih rendah

dibandingkan sekam padi diduga meningkatkan pembentukan fraksi tar, sedangkan peningkatan proporsi sekam padi cenderung mengarahkan produk pirolisis ke pembentukan *char* dan gas.

Pengujian kadar air pada hasil pirolisis sekam padi dan serbuk gergaji kayu jati dilakukan dengan mengukur penurunan massa sampel setelah dipanaskan menggunakan oven. Pengujian ini bertujuan untuk menentukan kadar air pada tar yang dihasilkan dari proses pirolisis. Nilai kadar air tar untuk berbagai variasi bahan baku dan waktu pirolisis ditunjukkan pada Gambar 4.

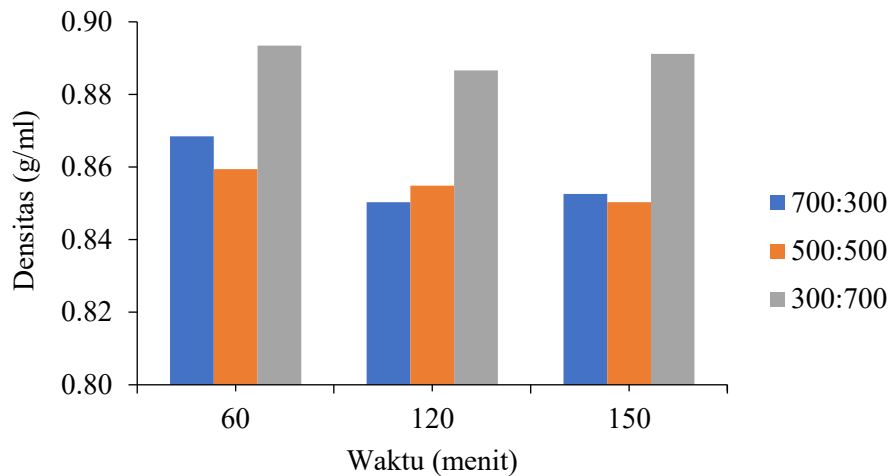


Gambar 4. Kadar air tar pada berbagai variasi bahan baku dan waktu pirolisis

Berdasarkan Gambar 4, kadar air tar menunjukkan pola fluktuatif terhadap waktu pirolisis. Kadar air tertinggi diperoleh pada perbandingan bahan baku 700 g sekam padi : 300 g serbuk gergaji kayu jati pada waktu 120 menit, yaitu sebesar 9,22%, sedangkan kadar air terendah dicapai pada perbandingan 500 g : 500 g pada waktu yang sama dengan nilai 7,29%. Rentang kadar air yang dihasilkan berada antara 7,29–9,22%.

Kadar air bahan baku awal (sekam padi dan serbuk gergaji kayu jati) sebelum proses pirolisis sebesar 10%, sehingga kadar air pada tar masih relatif tinggi. Nilai kadar air yang diperoleh belum memenuhi standar kadar air maksimum untuk bahan bakar diesel menurut BSN 04-7182-2006, yaitu 0,05%. Tingginya kadar air pada tar dipengaruhi oleh kandungan air awal biomassa serta air yang terbentuk selama proses pirolisis akibat reaksi dehidrasi yang terjadi pada saat dekomposisi termal biomassa [24]. Keberadaan air pada produk cair hasil pirolisis merupakan fenomena yang tidak dapat dihindari karena berasal dari kadar air bahan baku dan reaksi dehidrasi selama proses pirolisis [25]. Secara umum, kadar air yang lebih rendah diharapkan karena dapat meningkatkan nilai kalor dan efisiensi pembakaran, sedangkan kadar air yang tinggi cenderung menurunkan nilai kalor bahan bakar [26]. Untuk meminimalkan kadar air tar, proses kondensasi dapat dioptimalkan agar pemisahan fraksi air dan tar berlangsung lebih efektif, serta produk tar dapat menjalani proses pemurnian lanjutan, seperti dekantasi atau pemanasan ringan, untuk mengurangi kandungan air sebelum digunakan sebagai bahan bakar.

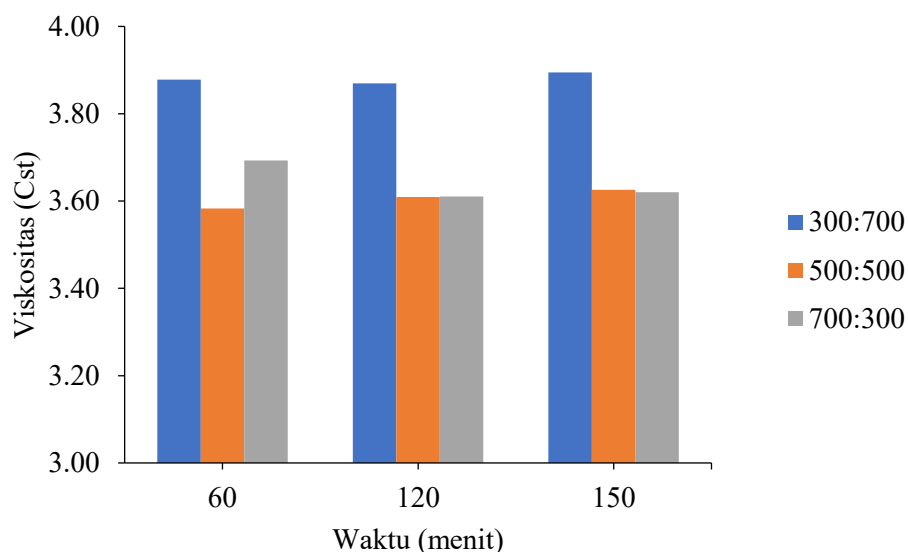
Gambar 5 menunjukkan hubungan antara variasi perbandingan bahan baku dan waktu pirolisis terhadap densitas tar. Berdasarkan Gambar 5, densitas tar cenderung menurun seiring bertambahnya waktu pirolisis untuk setiap variasi bahan baku. Densitas tar tertinggi diperoleh pada perbandingan bahan baku 300 g sekam padi : 700 g serbuk gergaji kayu jati pada waktu 60 menit, yaitu 0,893 g/mL, sedangkan densitas terendah diperoleh pada perbandingan 500 g : 500 g pada waktu 150 menit, yaitu sebesar 0,850 g/mL.



Gambar 5. Densitas tar pada berbagai variasi bahan baku dan waktu pirolisis

Densitas didefinisikan sebagai perbandingan antara massa suatu sampel terhadap volumenya. Waktu pirolisis memiliki pengaruh terhadap densitas tar yang dihasilkan. Peningkatan durasi pirolisis umumnya menyebabkan penurunan densitas produk cair hasil pirolisis [27]. Selain itu, variasi jenis bahan baku juga memengaruhi nilai densitas yang diperoleh. Pada beberapa variasi bahan baku, densitas tar menunjukkan kecenderungan meningkat seiring bertambahnya waktu pirolisis. Perbedaan ini diduga berkaitan dengan perubahan komposisi kimia tar selama proses pirolisis. Komposisi produk cair sangat dipengaruhi oleh jenis biomassa dan kondisi operasi pirolisis, sehingga menghasilkan distribusi senyawa yang berbeda pada setiap perlakuan [28]. Tar sebagai fraksi terberat dari produk cair pirolisis mengandung berbagai senyawa, seperti fragmen lignin, fenol, dan senyawa aromatik, yang berkontribusi terhadap sifat fisiknya, termasuk densitas [29]. Oleh karena itu, perubahan komposisi senyawa penyusun tar akibat variasi waktu pirolisis dan rasio bahan baku diduga menyebabkan perbedaan nilai densitas yang diperoleh. Rentang densitas tar yang diperoleh berada antara 0,850–0,893 g/mL (850–893 kg/m³). Nilai tersebut berada pada kisaran densitas bahan bakar diesel menurut BSN 04-7182-2006 (850-890 kg/m³) [30]. Namun demikian, karena pengujian densitas pada penelitian ini tidak dilakukan pada suhu acuan 40°C, perbandingan dengan standar tersebut hanya bersifat indikatif.

Gambar 6 menunjukkan hubungan antara variasi bahan baku dan waktu pirolisis terhadap viskositas tar. Viskositas tar cenderung stabil, dengan sedikit peningkatan seiring bertambahnya waktu pirolisis pada semua variasi bahan baku. Viskositas tertinggi diperoleh pada variasi bahan baku 300 g sekam padi : 700 g serbuk gergaji kayu jati dengan waktu pirolisis 150 menit sebesar 3,895 cSt, sedangkan viskositas terendah diperoleh pada variasi bahan baku 500 g sekam padi : 500 g serbuk gergaji kayu jati pada waktu 60 menit sebesar 3,583 cSt.

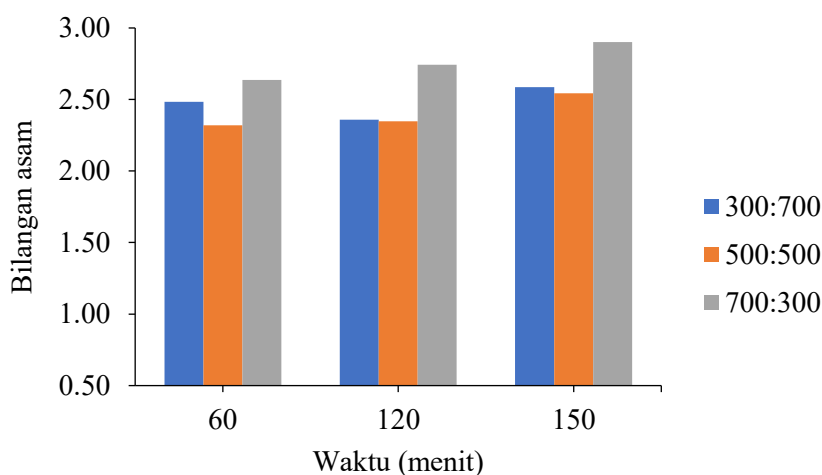


Gambar 6. Viskositas tar pada berbagai variasi bahan baku dan waktu pirolisis

Viskositas merupakan ukuran kemampuan suatu fluida untuk mengalir dan menunjukkan tingkat hambatan internal terhadap aliran tersebut. Nilai viskositas dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti temperatur, tekanan, waktu reaksi, dan kandungan pengotor dalam bahan. Umumnya, peningkatan temperatur dan waktu reaksi menyebabkan perubahan struktur molekul yang membuat fluida lebih sulit mengalir, sehingga viskositasnya meningkat. Dalam konteks pirolisis biomassa, viskositas tar dipengaruhi oleh kandungan air, komposisi kimia (terutama lignin), serta tingkat degradasi termal komponen selama proses pirolisis. Kandungan air yang tinggi pada tar cenderung menurunkan viskositas karena air bertindak sebagai pelarut yang mengurangi kekentalan campuran. Sebaliknya, kandungan senyawa aromatik berat atau resin hasil dekomposisi lignin dapat meningkatkan viskositas tar [31]. Oleh sebab itu, rasio bahan baku juga berpengaruh terhadap nilai viskositas. Komposisi serbuk gergaji kayu jati yang lebih tinggi (rasio 300:700) mengandung lignin dalam jumlah besar, sehingga menghasilkan lebih banyak senyawa aromatik dan fenolik yang bersifat kental.

Nilai viskositas tar yang diperoleh berkisar antara 3,583–3,895 cSt. Berdasarkan BSN 04-7182-2006, standar viskositas untuk mutu bahan bakar diesel (*diesel fuel*) pada suhu 40°C adalah 2,3–6,0 cSt [30]. Namun, pengukuran viskositas pada penelitian ini dilakukan pada suhu ruang, sehingga perbandingan dengan standar BSN hanya digunakan sebagai acuan dan belum dapat digunakan untuk menyatakan kesesuaian secara langsung terhadap standar tersebut.

Gambar 7 menunjukkan hubungan antara variasi bahan baku dan waktu pirolisis terhadap bilangan asam tar. Bilangan asam mengalami sedikit peningkatan seiring bertambahnya waktu pirolisis untuk semua variasi bahan baku. Bilangan asam tertinggi diperoleh pada variasi bahan baku 700 g sekam padi : 300 g serbuk gergaji kayu jati dengan waktu pirolisis 150 menit sebesar 2,90%, sedangkan nilai terendah diperoleh pada variasi bahan baku 500 g sekam padi : 500 g serbuk gergaji kayu jati dengan waktu pirolisis 60 menit sebesar 2,32%.



Gambar 7. Bilangan asam tar pada berbagai variasi bahan baku dan waktu pirolisis

Keasaman yang tinggi terutama disebabkan oleh degradasi hemiselulosa selama proses pirolisis, yang menghasilkan berbagai senyawa asam organik. Kondisi tersebut menimbulkan berbagai permasalahan, seperti penurunan stabilitas selama penyimpanan dan transportasi, peningkatan risiko korosi pada peralatan, serta kecenderungan terjadinya reaksi kondensasi dan polimerisasi yang dapat menurunkan kualitas tar [32]. Waktu pirolisis yang lebih lama memungkinkan terjadinya reaksi oksidasi ringan serta repolimerisasi senyawa volatil, menghasilkan lebih banyak senyawa asam seperti asam asetat, fenol, dan turunannya. Rasio bahan baku juga memengaruhi nilai bilangan asam, di mana peningkatan proporsi sekam padi (yang kaya silika dan hemiselulosa) cenderung meningkatkan pembentukan senyawa asam. Bilangan asam tar yang diperoleh adalah 2,32–2,90%. Berdasarkan BSN 04-7182-2006, nilai bilangan asam maksimum untuk mutu bahan bakar diesel adalah 0,8% [30]. Dengan demikian, bilangan asam tar yang dihasilkan dalam penelitian ini masih berada di atas standar tersebut. Nilai bilangan asam yang tinggi mengindikasikan bahwa tar masih mengandung senyawa polar dan oksigenat, yang dapat menurunkan kestabilan serta performa pembakarannya. Kandungan asam yang besar juga dapat menurunkan stabilitas dan mutu bahan bakar dengan menimbulkan korosi pada peralatan hilir serta memengaruhi titik beku tar [33]. Bilangan asam yang tinggi menunjukkan bahwa tar masih mengandung senyawa oksigenat, terutama asam organik, yang dapat menurunkan kualitasnya sebagai bahan bakar. Oleh karena itu, peningkatan kualitas tar dapat dilakukan melalui proses *upgrading* yang bertujuan untuk

mengurangi kandungan air, senyawa asam, dan komponen tidak stabil. Berbagai metode *upgrading* telah dikembangkan, meliputi metode fisik, kimia, dan katalitik. Metode fisik mencakup *hot vapour filtration*, ekstraksi pelarut, dan emulsifikasi, sedangkan metode kimia umumnya dilakukan melalui esterifikasi. Sementara itu, metode katalitik seperti *zeolite cracking*, *hydrodeoxygenation* (HDO), dan *steam reforming* banyak digunakan untuk menurunkan kandungan senyawa oksigenat sehingga dapat meningkatkan kualitas tar sebagai bahan bakar [24].

Nilai kalor menunjukkan jumlah energi yang dilepaskan ketika bahan dibakar. Tujuan pengujian nilai kalor tar adalah untuk mengetahui potensi penggunaannya sebagai bahan bakar alternatif. Nilai kalor tar yang diperoleh ditunjukkan pada Tabel 1. Sampel yang diuji merupakan variasi dengan hasil terbaik dari parameter uji sebelumnya, yaitu kombinasi bahan sekam padi dan serbuk gergaji kayu jati pada beberapa perbandingan dan waktu pirolisis. Hasil menunjukkan bahwa variasi 300 g sekam padi : 700 g serbuk gergaji kayu jati dengan waktu pirolisis 120 menit menghasilkan nilai kalor tertinggi sebesar 4.329,485 kal/g. Nilai ini lebih tinggi dibandingkan waktu pirolisis 60 menit pada variasi bahan yang sama, yaitu 4.217,884 kal/g. Peningkatan nilai kalor seiring bertambahnya waktu pirolisis disebabkan oleh penurunan kadar air pada tar, sehingga kandungan energi per satuan massa meningkat [26].

Sebaliknya, pada variasi bahan baku 500 g sekam padi : 500 g serbuk gergaji kayu jati dengan waktu pirolisis 120 menit diperoleh nilai kalor 3.883,083 kal/g. Nilai yang lebih rendah ini mengindikasikan bahwa komposisi bahan berpengaruh terhadap kualitas energi tar yang dihasilkan. Berdasarkan standar BSN 04-7182-2006, nilai kalor bahan bakar diesel berkisar antara 3.821,54-4.538,07 kal/g [30]. Dengan demikian, tar hasil pirolisis pada penelitian ini memiliki nilai kalor yang setara dengan bahan bakar diesel, menunjukkan potensi penggunaannya sebagai bahan bakar alternatif.

Tabel 1. Data hasil pengujian nilai kalor tar hasil pirolisis

Variasi sampel	Waktu (menit)	T _{awal} (°C)	T _{akhir} (°C)	ΔT (°C)	Kalor (kal/g)
500:500	120	21,7	25,2	3,5	3883,083
300:700	120	21,3	25,2	3,9	4329,485
300:700	60	21,4	25,2	3,8	4217,884

Analisis GC-MS dilakukan untuk mengidentifikasi komponen kimia yang terdapat dalam tar hasil pirolisis. Sampel yang dianalisis merupakan tar dengan karakteristik terbaik berdasarkan kadar air rendah, nilai kalor tinggi, serta viskositas dan densitas yang sesuai standar, yaitu tar dari variasi bahan baku 300 g sekam padi : 700 g serbuk gergaji kayu jati dengan waktu pirolisis 120 menit pada suhu 600°C. Hasil analisis GC-MS ditunjukkan pada Tabel 2, yang memperlihatkan persentase area masing-masing komponen penyusun tar. Komponen utama tar adalah fenol (42,55%), diikuti oleh asam (31,27%), benzena (16,26%), dan senyawa lain seperti keton (3,39%), alkohol (2,56%), *diphenylacetylene* (2,17%), serta aseton (1,79%).

Tabel 2. Komponen kimia tar dari pirolisis campuran sekam padi dan serbuk gergaji kayu jati

Komponen	Persentase area tar (%)
Fenol	42,55
Benzena	16,26
Alkohol	2,56
Aseton	1,79
Keton	3,39
Asam	31,27
<i>Diphenylacetylene</i>	2,17

Tingginya kandungan fenol menunjukkan bahwa proses pirolisis lebih banyak memecah fraksi lignin dibandingkan selulosa dan hemiselulosa. Hal ini sesuai dengan karakteristik pirolisis lignoselulosa, di mana hemiselulosa dan selulosa terdekomposisi pada rentang suhu 180-350°C, menghasilkan senyawa asam karboksilat dan karbonil, sedangkan lignin terurai pada 300-500°C, menghasilkan fenol dan turunannya [34]. Senyawa fenolik seperti guaiakol dan syringol juga berperan dalam memberikan aroma khas pada produk hasil pirolisis [35]. Dengan demikian, dominasi senyawa fenol dan asam pada tar menunjukkan bahwa reaksi dekomposisi lignin dan sebagian hemiselulosa berlangsung optimal, menghasilkan tar dengan potensi sebagai bahan kimia aromatik bernilai tinggi maupun bahan bakar cair alternatif.

4. Kesimpulan

Pada proses pirolisis sekam padi dan serbuk gergaji kayu jati, diperoleh kondisi optimum pada suhu 600°C dan waktu 120 menit dengan rasio bahan baku 300 g sekam padi : 700 g serbuk gergaji kayu jati. Variasi tersebut menghasilkan *yield* tar sebesar 7,984%, kadar air 7,585%, densitas 0,887 g/mL, viskositas 3,870 cSt, dan bilangan asam 2,36%. Nilai kalor tar yang dihasilkan mencapai 4.329,485 kal/g, setara dengan bahan bakar diesel (3.821,54–4.538,07 kal/g), menunjukkan bahwa tar hasil pirolisis berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif. Analisis GC–MS menunjukkan bahwa komponen utama tar adalah fenol (42,55%), diikuti oleh asam (31,27%) dan benzena (16,26%), yang menandakan bahwa proses dekomposisi lignin berlangsung dominan selama pirolisis. Secara keseluruhan, studi ini membuktikan bahwa limbah sekam padi dan serbuk gergaji kayu jati dapat dikonversi menjadi tar bernilai energi tinggi melalui proses pirolisis, sehingga berpotensi menjadi sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan.

5. Konflik Kepentingan

Semua penulis tidak memiliki konflik kepentingan (*conflict of interest*) pada publikasi artikel ini.

Daftar Pustaka

- [1] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, “Statistik Minyak dan Gas Bumi 2019,” 2019. <http://www.migas.esdm.go.id/>.
- [2] Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, “Road Map Pengembangan dan Pemanfaatan Batubara,” Jakarta, 2021.
- [3] M. Syamsiro, “Peningkatan kualitas bahan bakar padat biomassa dengan proses densifikasi dan torrefaksi,” *J. Mek. dan Sist. Termal*, vol. 1, no. 1, pp. 7-13, 2016.
- [4] N. F. T. Danun, G. P. Pasak, B. M. Simak, dan J. Andi, “Potensi pengembangan biomassa sebagai alternatif energi terbarukan,” *Bakar*, vol. 1, 2022.
- [5] A. Nofiyanto *et al.*, “Studi proses pirolisis berbahan jerami padi terhadap hasil produksi char dan tar sebagai bahan bakar alternatif,” *PROTON*, vol. 11, no. 1, pp. 21-28, 2019.
- [6] R. Chikri, N. Elhadiri, M. Benchanaa, dan Y. El Maguana, “Efficiency of sawdust as low-cost adsorbent for dyes removal,” *J. Chem.*, vol. 2020, pp. 1-17, 2020.
- [7] Y. Huang *et al.*, “Fundamental advances in biomass autothermal/oxidative pyrolysis: A review,” *ACS Sustain. Chem. Eng.*, vol. 8, no. 32, pp. 11888–11905, 2020.
- [8] W. Chen *et al.*, “Mechanistic insights into thermal degradation of lignocellulosic biomass components for bioenergy and biofuel : A review,” *Appl. Energy Combust. Sci.*, vol. 26, 2026.
- [9] E. Parvari, D. Mahajan, dan E. L. Hewitt, “A review of biomass pyrolysis for production of fuels: chemistry, processing, and techno-economic analysis,” *Biomass*, vol. 5, no. 3, p. 54, 2025.
- [10] P. Suwandono, N. R. Ismail, dan M. N. Majid, “Pengaruh temperatur pada tar dan api pirolisis minyak jelantah,” in *Conference on Innovation and Application of Science and Technology (CIASTECH 2020)*, 2020, pp. 657-664.
- [11] D. Hermaw, A. Hardianto, P. Suwandon, dan F. Rahmadianto, “Pengaruh temperatur pirolisis terhadap energi aktivasi pada tar limbah plastik,” *Prosiding SENIATI*, vol. 5, no. 4, pp. 354-360, 2019.
- [12] J. Li, D. Yang, X. Yao, H. Zhou, K. Xu, dan L. Geng, “Slow pyrolysis experimental investigation of biomass tar formation and hydrogen production by tar reforming,” *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 52, pp. 74–87, 2024.
- [13] P. Saires, C. A. Barraza, M. Bertero, R. Pujro, M. Falco, dan U. Sedran, “Characterization of Pyrolytic Tars Derived from Different Biomasses,” *Processes*, vol. 12, p. 817, 2024.
- [14] K. M. Nasser dan T. Setiawan, “Pengolahan limbah sanitasi berbasis bio-energi dalam penataan kawasan hunian kumuh di Tanjung Duren Utara, Jakarta Barat,” *J. STUPA*, vol. 3, no. 2, pp. 1849-1860, 2021.
- [15] H. Wijayanti, D. Ratnasari, dan R. Hakim, “Studi kinetika pirolisis sekam padi untuk menghasilkan bio-oil sebagai energi alternatif,” vol. 3, no. 2, pp. 83–88, 2020.
- [16] R. Kataki, R. S. Chutia, M. Mishra, N. Bordoloi, R. Saikia, dan T. Bhaskar, “Chapter 2 - Feedstock suitability for thermochemical processes,” in *Recent Advances in Thermo-Chemical Conversion of Biomass*, Eds. Boston: Elsevier, 2015, pp. 31-74.
- [17] T. Samangun, D. Nasrun, dan T. Iskandar, “Pemurnian minyak jelantah menggunakan arang aktif dari sekam padi,” *eUREKA J. Penelit. Tek. Sipil dan Tek. Kim.*, vol. 1, no. 2, pp. 1-7, 2017.
- [18] R. E. S. Purba, Irwan, dan Nurmaidah, “Pemanfaatan limbah serbuk gergaji kayu sebagai substitusi campuran bata ringan kedap suara,” *J. Civ. Eng. Build. Transp.*, vol. 1, no. 2, pp. 87-95, 2017.
- [19] Q. Dong, H. Li, S. Zhang, X. Li, dan W. Zhong, “Biomass tar cracking and syngas production using rice husk char-supported nickel catalysts coupled with microwave heating,” *RSC Adv.*, vol. 8, no. 71, pp.

40873-40882, 2018.

- [20] R. Pode, B. Diouf, dan G. Pode, “Sustainable rural electrification using rice husk biomass energy : A case study of Cambodia,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 44, pp. 530-542, 2015.
- [21] O. E. Agwu, J. U. Akpabio, dan G. W. Archibong, “Heliyon rice husk and saw dust as filter loss control agents for water-based muds,” *Heliyon*, vol. 5, no. 7, p. e02059, 2019.
- [22] D. Prasetyo, F. Wulandari, dan K. B., “Karakteristik biopellet dari bahan sekam padi dan serbuk gergaji kayu jati (*Tectona grandis* Linn.F.),” *J. For. Sci. Avicennia*, vol. 5, pp. 137–150, 2022.
- [23] G. Yildiz, F. Ronsse, R. Venderbosch, R. van Duren, S. R. A. Kersten, dan W. Prins, “Effect of biomass ash in catalytic fast pyrolysis of pine wood,” *Appl. Catal. B Environ.*, vol. 168–169, pp. 203–211, 2015.
- [24] Z. E. Zadeh, A. Abdulkhani, O. Aboelazayem, dan B. Saha, “Recent insights into lignocellulosic biomass pyrolysis: A critical review on pretreatment, characterization, and products upgrading,” *Processes*, vol. 8, no. 7, p. 799, 2020.
- [25] S. Zhang *et al.*, “Liquefaction of biomass and upgrading of bio-oil: A review,” *Molecules*, vol. 24, no. 12, p. 2250, 2019.
- [26] S. Heru, M. Jahiding, dan W. O. S. Ilmawati, “Produksi dan karakterisasi bio-coke berbasis limbah kulit buah jarak pagar (*Jatropha curcas* L.) sebagai bahan bakar alternatif menggunakan metode pirolisis,” *J. Apl. Fis.*, vol. 20, no. 1, pp. 21–29, 2024.
- [27] I. Handayani dan K. Sa’diyah, “Pengaruh waktu pirolisis serbuk gergaji kayu terhadap hasil asap cair,” *DISTILAT J. Teknol. Separasi*, vol. 8, no. 1, pp. 28–35, 2022.
- [28] M. Saber, B. Nakhshiniev, dan K. Yoshikawa, “A review of production and upgrading of algal bio-oil,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 58, pp. 918–930, 2016.
- [29] P. Basu dan P. Kaushal, “Chapter 13 – Energy and materials from biomass,” in *Biomass Gasification, Pyrolysis, and Torrefaction*, 4th ed. Academic Press, 2024, pp. 455-489.
- [30] Badan Standardisasi Nasional, “SNI 04-7182-2006 - Biodiesel,” 2006. .
- [31] L. Maulinda, H. Husin, N. Arahman, C. M. Rosnelly, M. Syukri, dan F. Nasution, “The influence of pyrolysis time and temperature on the composition and properties of bio-oil prepared from tanjong leaves (*Mimusops elengi*),” *Sustainability*, vol. 15, p. 13851, 2023.
- [32] L. K. E. Park, J. Liu, S. Yiaccoumi, A. P. Borole, dan C. Tsouris, “Contribution of acidic components to the total acid number (TAN) of bio-oil,” *Fuel*, vol. 200, pp. 171–181, 2017.
- [33] J. S. Chang *et al.*, “Low acid value bio-gasoline and bio-diesel made from waste cooking oils using a fast pyrolysis process,” *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.*, vol. 73, pp. 1–11, 2017.
- [34] S. Maulina dan F. S. Putri, “Pengaruh suhu, waktu, dan kadar air bahan baku terhadap pirolisis serbuk pelepah kelapa sawit,” *J. Tek. Kim. USU*, vol. 6, no. 2, pp. 35–40, 2017.
- [35] F. Kasim, A. N. Fitrah, dan E. Hambali, “Aplikasi asap cair pada lateks,” *Penelit. dan Apl. Sist. dan Tek. Ind.*, vol. 9, no. 1, 2015.