



## Pengaruh Variasi Temperatur Proses Pirolisis terhadap Karakteristik Biopellet Berbahan Baku Arang Limbah Ampas Tebu dan Kulit Kopi

Naufal Dwi Qurniawan<sup>1\*</sup>, Arif Rahman Saleh<sup>2</sup>, Rany Puspita Dewi<sup>3</sup>

<sup>1-3</sup>Program Studi Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Tidar, Indonesia

[naufal.qurniawan32@gmail.com](mailto:naufal.qurniawan32@gmail.com)<sup>1</sup>, [arifrahmansaleh@untidar.ac.id](mailto:arifrahmansaleh@untidar.ac.id)<sup>2</sup>, [ranypuspita@untidar.ac.id](mailto:ranypuspita@untidar.ac.id)<sup>3</sup>

\*Penulis Korespondensi: [naufal.qurniawan32@gmail.com](mailto:naufal.qurniawan32@gmail.com)

**Abstract.** Increasing in energy demand and limited fossil fuel reserves have driven the use of environmentally friendly alternative energy sources. This study aims to analyze the effect of pyrolysis temperature variations on the quality of biopellets made from bagasse and coffee husks. The materials were prepared in a 50:50 ratio with the addition of 15% tapioca flour as a binder. The pyrolysis process was carried out at temperatures of 450°C, 500°C, and 550°C for 120 minutes in oxygen-free conditions. The biochar resulting from pyrolysis was formed into biopellets, which were then tested for proximate composition, calorific value, and combustion rate. The results showed that an increase in pyrolysis temperature had a significant effect on the characteristics of the biopellets. A temperature of 550°C produced the lowest moisture content (8.436%), the highest fixed carbon content (62.191%), the highest calorific value (6293 cal/g), and the highest combustion rate (0.05789 g/sec). Conversely, ash content increased with rising temperature, while volatile matter content decreased. Thus, the best biopellets were obtained at a temperature of 550°C. This study confirms the potential of bagasse and coffee husks as raw materials for biopellets through pyrolysis temperature optimization to support the development of sustainable biomass energy.

**Keywords:** Alternative Energy; Bagasse; Biopellets; Coffee Husks; Pyrolysis

**Abstrak.** Peningkatan kebutuhan energi dan keterbatasan cadangan bahan bakar fosil mendorong pemanfaatan energi alternatif yang ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi suhu pirolisis terhadap kualitas biopellet berbahan baku limbah ampas tebu dan kulit kopi. Bahan disiapkan dengan perbandingan 50:50 serta tambahan 15% tepung tapioka sebagai perekat. Proses pirolisis dilakukan pada suhu 450°C, 500°C, dan 550°C selama 120 menit dalam kondisi tanpa oksigen. Biochar hasil pirolisis dibentuk menjadi biopellet, kemudian diuji komposisi proksimat, nilai kalor, serta laju pembakaran. Hasil menunjukkan bahwa peningkatan suhu pirolisis berpengaruh signifikan terhadap karakteristik biopellet. Suhu 550°C menghasilkan kadar air terendah (8,436%), kadar karbon terikat tertinggi (62,191%), nilai kalor tertinggi (6293 kal/gr), serta laju pembakaran terbesar (0,05789 g/detik). Sebaliknya, kadar abu meningkat dengan kenaikan suhu, sedangkan kadar zat terbang menurun. Dengan demikian, biopellet terbaik diperoleh pada suhu 550°C. Penelitian ini menegaskan potensi limbah ampas tebu dan kulit kopi sebagai bahan baku biopellet melalui optimasi suhu pirolisis untuk mendukung pengembangan energi biomassa berkelanjutan.

**Kata kunci:** Ampas Tebu; Biopellet; Energi Alternatif; Kulit Kopi; Pirolisis

### 1. LATAR BELAKANG

Faktor utama yang memengaruhi pertumbuhan ekonomi nasional adalah energi. Permintaan energi terus meningkat seiring dengan kebutuhan industri konstruksi, seperti manufaktur, transportasi, dan listrik. Saat ini, kebutuhan energi dipenuhi oleh bahan bakar fosil seperti bensin, batu bara, dan minyak bumi. Namun, ketersediaan bahan bakar fosil terus menurun, terutama di kalangan masyarakat miskin. Karena bahan bakar fosil semakin langka, pasokan energi dunia pada akhirnya akan habis. Eksplorasi yang telah dilakukan, konsumsi yang tinggi, dan pertambahan penduduk dari waktu ke waktu akan menciptakan kondisi di mana pasokan energi bahan bakar fosil, terutama bagi masyarakat miskin, tidak dapat memenuhi permintaan energi mereka. Para ahli berpendapat bahwa dengan pola konsumsi seperti ini, energi bahan bakar fosil akan cepat habis. Minyak bumi diprediksi habis dalam 30

tahun lagi pada tahun 2052, gas bumi dalam 40 tahun lagi pada tahun 2060, dan batu bara dalam 70 tahun lagi pada tahun 2090 (Parinduri, 2020). Ketergantungan Indonesia terhadap bahan bakar fosil akan menyebabkan negara ini menjadi rentan terhadap krisis energi, terutama jika tidak diambil langkah-langkah untuk mengatasi rendahnya produksi energi yang dapat memenuhi kebutuhan nasional.

Usaha untuk menurunkan penggunaan bahan bakar fosil pada sektor pembangkit listrik serta menghindari kenaikan emisi gas rumah kaca mendorong adopsi teknologi energi yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan. Salah satu strategi yang diterapkan adalah dengan memanfaatkan sumber energi biomassa. Secara umum, kadar energi dalam biomassa cenderung lebih rendah. Oleh karena itu, pencampuran antara bahan bakar biomassa dan batu bara menjadi salah satu opsi alternatif untuk menjaga kandungan energi yang dibutuhkan dalam proses pembakaran. Teknik yang diterapkan untuk mencampurkan bahan bakar tersebut disebut *cofiring* (Sidiq, 2022). Bahan bakar *cofiring* biomassa dapat berasal dari potongan kayu, reruntuhan pohon jenis tanaman energi, beberapa jenis limbah tertentu, ataupun sampah yang sudah diolah.

Peningkatan pemanfaatan biomassa yang berasal dari limbah dapat menurunkan tingkat pencemaran global dengan mengubah sampah menjadi sumber energi alternatif yang bermanfaat. Penggunaan biomassa lebih ramah lingkungan dibandingkan bahan bakar fosil dan berkontribusi pada pengurangan emisi gas rumah kaca. Sumber biomassa tersedia di semua negara di dunia. Terdapat berbagai teknologi yang dapat diterapkan untuk mengubah biomassa menjadi energi yang berguna seperti biopellet (Parinduri, 2020). Salah satu biomassa yang dapat dioptimalkan sebagai sumber energi adalah limbah ampas tebu dan kulit kopi.

Biopellet merupakan jenis bahan bakar padat yang berasal dari limbah dan memiliki ukuran lebih kecil dibandingkan briket. Biopellet dapat dimanfaatkan sebagai sumber panas untuk pemukiman atau industri skala kecil. Proses pembuatan biopellet melibatkan pemadatan dengan bahan perekat sebelum dicetak menjadi bentuk yang diinginkan. Salah satu bahan perekat yang umum digunakan dalam produksi biopellet adalah tapioka, yang mudah diakses, terjangkau, dan dapat memberikan kekuatan rekat yang tinggi setelah kering. Penggunaan bahan perekat harus dilakukan dengan hati-hati, karena peningkatan jumlah perekat akan meningkatkan kadar kelembapan dalam biopellet. Situasi ini dapat menurunkan efisiensi pembakaran biopellet.

Tebu adalah tanaman yang berfungsi sebagai bahan dasar utama dalam produksi gula. Sisa tebu atau yang dikenal sebagai bagas adalah hasil sampingan dari proses ekstraksi cairan tebu. Saat ini, pemanfaatan sisa tebu belum dilakukan secara maksimal, sehingga menimbulkan

tantangan bagi industri gula serta lingkungan. Secara kimia, komponen utama dari sisa tebu terdiri dari selulosa, hemiselulosa, dan lignin (Andaka, 2011). Ampas tebu adalah hasil samping dari proses ekstraksi cairan tebu. Dari satu pabrik dapat dihasilkan ampas tebu sekitar 35%–40% dari berat tebu yang digiling. Oleh karena itu, pemanfaatan ampas tebu pada pembuatan briket dapat meningkatkan nilai ekonomisnya. Pada penelitian ini, variasi yang digunakan yaitu variasi temperatur menggunakan metode pirolisis dengan suhu 210°C, 300°C, dan 390°C. Dari hasil uji, nilai kalor briket bioarang tertinggi yaitu 5.974,198 kal/g.

Kopi merupakan salah satu produk pertanian paling penting di dunia dengan jumlah konsumsi global mencapai 2,25 juta cangkir per hari dan termasuk komoditas unggulan yang memberikan dampak positif pada perekonomian Indonesia (Fithriyyah et al., 2020). Menurut laporan Badan Pusat Statistik (BPS), produksi kopi Indonesia pada tahun 2021 mencapai 774,6 ribu ton, meningkat 2,75% dibandingkan tahun 2020, dan menjadi hasil tertinggi dalam satu dekade terakhir, sehingga menempatkan Indonesia di urutan ke-4 dunia (Mahmudan, 2022).

Peningkatan produksi industri dan konsumsi kopi di kedai kopi berdampak pada jumlah limbah yang dihasilkan. Selama tahap pengolahan kopi, terdapat produk sampingan yaitu pulp, cangkang kopi, dan sisa kulit kopi. Karmei (2018) memperkirakan bahwa dari 1 ton biji kopi hijau, dapat diperoleh 650 kg limbah kulit kopi. Jejak karbon yang dihasilkan dari biji kopi hingga menjadi secangkir kopi mencapai 59,12 g CO<sub>2</sub>eq. Selain limbah gelas plastik, limbah padat berupa kulit kopi juga meningkat seiring meningkatnya konsumsi (Mayson & Williams, 2021). Sayangnya, penelitian awal mengenai pengelolaan limbah kulit kopi di kedai kopi menunjukkan bahwa 70% kedai kopi belum melakukan pengelolaan terhadap kulit kopi. Kondisi ini menyebabkan limbah kulit kopi yang dibuang ke tempat sampah dan menuju Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) mengalami degradasi anaerobik sehingga menghasilkan gas metana (Franca & Oliveira, 2022). Limbah kulit kopi berpotensi menyumbang emisi sekitar 524,7 kg CO<sub>2</sub> dari 256.800 ton limbah kulit kopi. Salah satu dampak lingkungan dari limbah kulit kopi adalah peningkatan keasaman tanah (Toleissa, 2022).

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa salah satu solusi efektif untuk mengatasi limbah biomassa adalah dengan pembuatan biobriket. Limbah biomassa memiliki nilai kalor yang relatif tinggi jika dibuat menjadi briket (Pratiwi & Mukhaimin, 2021). Kandungan dalam limbah kulit kopi yaitu hemiselulosa, lignin, dan protein telah diteliti untuk pemanfaatannya dalam memproduksi arang briket (Kim et al., 2022). Kulit kopi kaya akan zat organik dan terdiri dari selulosa, hemiselulosa, pektin, dan lignin. Kandungan zat organik yang tinggi dalam kulit kopi menghasilkan briket dengan energi tinggi, kadar kelembapan rendah, dan kepadatan tinggi yang menjadikannya lebih efisien.

Dalam penelitian ini, penulis menggunakan limbah ampas tebu dan kulit kopi sebagai bahan baku biomassa serta larutan tepung tapioka sebagai perekat untuk membuat biopellet dari proses pirolisis bioarang. Pilihan ini diambil karena ampas tebu melimpah di wilayah Magelang–DIY dan belum dimanfaatkan secara optimal. Perekat tepung tapioka juga mudah diperoleh dan dapat menghasilkan kekuatan rekat yang baik.

Berdasarkan analisis tersebut, limbah ampas tebu dan kulit kopi memiliki potensi untuk digunakan sebagai bahan bakar biopellet arang. Namun, nilai kalor kedua limbah ini masih tergolong rendah. Untuk meningkatkan nilai kalor dari ampas tebu dan kulit kopi, salah satu metode yang diterapkan adalah pirolisis. Tujuan pirolisis adalah meningkatkan nilai kalor suatu biomassa melalui perlakuan panas pada suhu 450°C, 500°C, dan 550°C dalam kondisi tekanan atmosfer tanpa oksigen. Zat *volatile matter* dalam biomassa akan terlepas, meninggalkan karbon yang meningkatkan nilai kalor dan menghasilkan pembakaran yang lebih bersih. Selain itu, keunggulan lain produk ini adalah penurunan kadar air serta kemampuannya yang rendah dalam menyerap kelembaban lingkungan. Arang hasil pirolisis ampas tebu dan kulit kopi dapat digunakan sebagai bahan bakar rumah tangga maupun industri dalam bentuk biopellet.

Pembakaran dan gasifikasi melalui pirolisis merupakan proses dekomposisi termokimia dari bahan organik yang terjadi tanpa udara. Proses pirolisis pada biomassa biasanya berlangsung dalam rentang suhu 250°C hingga 600°C. Hasil pirolisis dipengaruhi oleh beberapa elemen, termasuk suhu pirolisis dan kecepatan pemanasan (Saparudin et al., 2015). Pembakaran dapat berlangsung apabila terdapat bahan bakar, zat pengoksidasi (udara/oksigen), serta panas untuk aktivasi (Rangkuti et al., 2019). Kehadiran udara sangat berperan dalam proses pembakaran karena udara adalah komponen utama yang memfasilitasi terjadinya reaksi pembakaran.

## 2. KAJIAN TEORITIS

### Sumber Energi Terbarukan

Sumber energi terbarukan ada beragam jenis energi terbarukan, namun tidak semuanya bisa digunakan di daerah-daerah terpencil dan perdesaan. Berbagai energi terbarukan, pirolisis 15 sumber energi terbarukan, yaitu seperti tenaga surya, tenaga angin, biomassa, dan tenaga air adalah teknologi yang paling sesuai untuk menyediakan energi di daerah terpencil dan perdesaan. Energi terbarukan lainnya termasuk panas bumi dan energi pasang surut adalah teknologi yang tidak bisa dilakukan di semua tempat (Caturwati, 2017). Indonesia memiliki sumber panas bumi yang melimpah, yakni sekitar 40% dari sumber total dunia. Akan tetapi, sumber-sumber ini berada di tempat yang spesifik dan tidak tersebar luas.

## **Limbah Ampas Tebu**

Ampas tebu, atau yang biasa disebut *bagasse*, adalah produk sampingan dari proses mengekstraksi (memerah) cairan tebu. Sekitar 35–40% dari massa tebu diproduksi sebagai ampas tebu. Referensi ditambahkan berdasarkan data dari Pusat Penelitian Perkebunan Gula Indonesia (P3GI), ampas tebu menghasilkan 32% dari berat tebu. Kandungan utama ampas tebu ialah lignoselulosa. Panjang serat berkisar dari 1,7 hingga 2 mm dengan diameter sekitar 20 mikron. *Bagasse* mengandung 48–52% air, gula rata-rata 3,3%, dan serat rata-rata 47,7%. Serat ampas tebu tidak larut dalam air dan kebanyakan terdiri dari lignin, selulosa, dan pentosan (Rulianah & Irfin, 2017).

## **Limbah Kulit Kopi**

Kopi, atau dalam nama ilmiah disebut *Coffea* sp., merupakan salah satu komoditas utama yang diekspor oleh Indonesia (PSP3-LPPM-IPB, 2018). Luas lahan pertanian kopi di Indonesia mencapai 1,2 juta hektare, dengan 96% di antaranya dimiliki oleh rakyat dan 4% sisanya dikuasai oleh pemerintah (PTP Nusantara) serta perkebunan swasta. Menurut laporan *Statistik Kopi Indonesia 2020* yang dibuat oleh Badan Pusat Statistik, produksi kopi nasional pada tahun 2020 mencapai 762 ribu ton. Produksi kopi tersebut dibagi berdasarkan kepemilikan lahan, yaitu 757,3 ribu ton berasal dari perkebunan rakyat, 3,7 ribu ton dari perkebunan besar milik pemerintah, dan 1,4 ribu ton dari perkebunan besar milik swasta (BPS, 2021).

## **Bahan Bakar**

Bahan bakar adalah suatu bahan yang jika dipanaskan akan mengalami reaksi kimia dengan oksidator (oksigen atau udara) untuk melepaskan panas. Bahan bakar komersial mengandung karbon, hidrogen, dan senyawa-senyawa yang dapat terbakar (sehingga sering disebut sebagai hidrokarbon) yang akan menghasilkan nilai kalor. Di sekitar kita terdapat banyak bahan yang dapat dibakar, seperti kayu, kertas, limbah pertanian, dan batu bara. Syarat umum dari sebuah bahan bakar yaitu tersedia dalam jumlah banyak, relatif murah, memiliki nilai kalor yang tinggi, dan gas emisi yang rendah. Bahan bakar jika ditinjau dari fasenya dapat dibagi menjadi tiga jenis, yaitu padat, cair, dan gas.

## **Proses Pirolisis**

Pembakaran dan gasifikasi pirolisis adalah cara menguraikan bahan organik menggunakan panas tanpa adanya udara. Proses pirolisis biomassa biasanya terjadi pada suhu antara 250°C hingga 600°C. Hasil dari proses pirolisis ini bergantung pada beberapa hal, seperti suhu dan kecepatan pemanasan. Secara umum, hasil pirolisis dapat dibagi menjadi tiga jenis, yaitu: pembakaran dan gasifikasi pirolisis adalah cara menguraikan bahan organik menggunakan panas tanpa adanya udara. Menurut Saparudin et al. (2015), proses pirolisis

biomassa biasanya terjadi pada suhu antara 250°C hingga 600°C. Hasil dari proses pirolisis ini bergantung pada beberapa hal, seperti suhu dan kecepatan pemanasan.

### **Bioarang**

Bioarang atau *biochar* adalah produk kaya karbon yang diperoleh ketika biomassa, seperti kayu, pupuk kandang, atau daun, dipanaskan dalam wadah tertutup dengan sedikit atau tanpa udara yang tersedia. Dalam istilah yang lebih teknis, *biochar* diproduksi oleh apa yang disebut dekomposisi termal bahan organik di bawah pasokan oksigen (O<sub>2</sub>) yang terbatas dan pada suhu yang relatif rendah (<700°C). Proses ini sering mencerminkan produksi arang, yang merupakan salah satu teknologi industri paling kuno yang dikembangkan oleh umat manusia, jika bukan yang tertua. Arang merupakan salah satu produk hasil dari pirolisis kulit kopi yang sebagian besar komponennya merupakan karbon. Arang, juga dikenal sebagai *biochar*, adalah produk pirolisis lambat yang disukai pada suhu sedang (Lehmann & Joseph, 2015). Perhitungan keseimbangan termodinamika menunjukkan bahwa hasil arang dari sebagian besar biomassa tidak boleh melebihi 35%.

### **Bahan Perekat**

Bahan baku biomassa umumnya dicampur dengan bahan perekat agar meningkatkan daya ikat campuran briket sebelum dicetak menggunakan mesin pencetak briket. Peneliti Dinesha et al. (2018) menyebutkan hal ini. Komposisi bahan perekat memengaruhi kadar air dalam briket; semakin banyak bahan perekat yang digunakan, semakin banyak air yang dibutuhkan untuk melarutkannya. Briket yang tidak menggunakan bahan perekat mudah hancur saat dikeluarkan dari cetakan, menurut Pratiwi & Mukhaimin (2021). Kualitas ikatan briket ditentukan oleh komposisi perekat yang tepat, pengadukan yang merata, serta komposisi campuran yang sesuai, menurut Khusna & Susanto (2015). Bahan perekat bisa dibuat dari bahan organik maupun anorganik.

Bahan baku biomassa umumnya dicampur dengan bahan perekat agar meningkatkan daya ikat campuran briket sebelum dicetak menggunakan mesin pencetak briket. Peneliti Dinesha et al. (2018) menyebutkan hal ini. Komposisi bahan perekat memengaruhi kadar air dalam briket; semakin banyak bahan perekat yang digunakan, semakin banyak air yang dibutuhkan untuk melarutkannya. Briket yang tidak menggunakan bahan perekat mudah hancur saat dikeluarkan dari cetakan, menurut Pratiwi & Mukhaimin (2021). Kualitas ikatan briket ditentukan oleh komposisi perekat yang tepat, pengadukan yang merata, serta komposisi campuran yang sesuai, menurut Khusna & Susanto (2015). Bahan perekat bisa dibuat dari bahan organik maupun anorganik.

## Biopelet

Biopelet adalah salah satu bahan bakar terbarukan yang berasal dari biomassa. Bio yang artinya hasil dari alam, biopelet dapat digunakan sebagai bahan bakar boiler pada industri dan pemanas ruangan. Bahan baku biopelet berasal dari limbah. Salah satu limbah industri perkebunan di Indonesia yang belum dimanfaatkan secara optimal adalah cangkang kelapa sawit (Qadry et al., 2023). Awalnya, pelet dilakukan sebagai metode pemadatan yang lebih disukai dan sebagian besar pabrik percontohan dan demonstrasi yang ada dilengkapi untuk produksi pelet. ECN (*Energy Commission of Nigeria*) awal menunjukkan pelet menjadi metode pemadatan yang menarik. Sejak itu, banyak bahan baku biomassa yang berbeda telah ditorefaksi dan dibuat pelet di ECN. Sejumlah penelitian yang menggunakan mesin *press* pelet tunggal skala laboratorium dari berbagai jenis juga tersedia dengan informasi dasar yang berguna untuk deskripsi mekanistik. Kualitas biopelet tidak hanya ditentukan dari nilai kalornya, tetapi juga ditentukan dari nilai daya tahan biopelet saat menahan tekanan; pencetakan biopelet menggunakan alat cetak pelet bertekanan 200 kg/cm<sup>2</sup>.

## 3. METODE PENELITIAN

Pengambilan data dan penelitian ini akan dilaksanakan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Tidar, Jl. Kapten Suparman No. 39, Tuguran, Potrobangsari, Kecamatan Magelang Utara, Kota Magelang, Jawa Tengah. Proses pengujian bahan bakar hasil pirolisis pada pengujian proksimat dan uji laju pembakaran dilakukan di Laboratorium Terpadu Universitas Tidar, untuk pengujian nilai kalor dilakukan di Laboratorium UMY Yogyakarta, Bantul. Teknik yang digunakan untuk pengumpulan data adalah studi literatur dan studi laboratorium. Analisis data yang diperoleh dari limbah ampas tebu dan kulit kopi yang sudah melalui proses pirolisis akan diuji sifat kalornya. Data yang diperoleh kemudian dihitung untuk dibandingkan dengan nilai standarnya hasil pirolisis limbah ampas tebu dan kulit kopi. Kemudian ditarik kesimpulan dari penelitian yang dilakukan.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

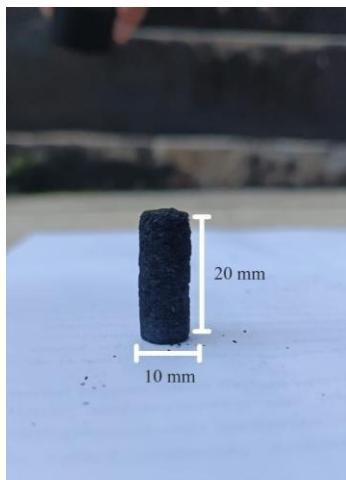
### Hasil Penelitian

Penelitian biopelet dengan campuran ampas tebu dan kulit kopi ini bertujuan untuk mengetahui nilai kalor, hasil analisis proksimat, serta laju pembakaran pada biopelet. Proses penelitian meliputi beberapa tahap, yaitu pengeringan bahan, karbonisasi, pencetakan, pengeringan sampel, dan pengujian. Pada tahap pengujian nilai kalor, proksimat, dan laju pembakaran, digunakan biopelet yang sama untuk setiap variasi yang diuji.

Dalam penelitian ini, setelah bahan melalui proses pengeringan, dilakukan karbonisasi selama 120 menit pada suhu 450°C, 500°C, dan 550°C. Arang yang dihasilkan kemudian ditimbang dan dicetak dengan setiap campuran diberi tambahan perekat tapioka sebanyak 15% dari total berat bahan. Lalu biopelet yang dihasilkan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 110°C selama 50 menit, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Karakteristik Biopelet

No.	Variasi Sampel (suhu)	Perekat	Berat (gr)	Panjang (mm)	Diameter (mm)
1.	450°	Tapioka	1,00	20	10
2.	500°	Tapioka	1,10	20	10
3.	550°	Tapioka	1,10	20	10



**Gambar 1.** Spesifikasi Biopelet

### Kadar Air

Pengujian kadar air dilakukan untuk menentukan persentase air yang terkandung dalam suatu bahan, dalam hal ini biopelet. Pengujian dilakukan dengan metode pengeringan menggunakan oven. Prinsip kerjanya adalah menghilangkan kandungan air pada sampel melalui pemanasan pada suhu tertentu. Pengujian kadar air dilaksanakan di Laboratorium Terpadu Universitas Tidar menggunakan *drying oven*. Data diperoleh dengan menghitung perbandingan berat sampel sebelum dan sesudah proses pemanasan. Hasil pengujian kadar air disajikan pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Hasil Pengujian Kadar Air

No.	Sampel Pengujian	Pengujian 1 (%)	Pengujian 2 (%)	Rata-rata (%)
1.	450°	10,548	10,219	10,383
2.	500°	9,879	10,641	10,263
3.	550°	8,142	8,731	8,436



### Kadar Abu

Pengujian kadar abu dilakukan untuk menentukan sisa residu yang tertinggal setelah seluruh bahan organik pada biopellet terbakar sempurna. Kadar abu ini mencerminkan kandungan unsur seperti silika, kalsium, magnesium, kalium, serta senyawa mineral lain yang tidak ikut terbakar. Pengujian kadar abu dilaksanakan di Laboratorium Terpadu Universitas Tidar menggunakan *muffle furnace*. Data diperoleh dengan menghitung selisih antara berat sampel setelah menjadi abu dan berat sampel sebelum proses pembakaran. Hasil pengujian kadar abu disajikan pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Hasil Pengujian Kadar Abu

No.	Sampel Pengujian	Pengujian 1 (%)	Pengujian 2 (%)	Rata-rata (%)
1.	450°	7,166	8,408	7,787
2.	500°	8,608	8,661	8,634
3.	550°	9,877	9,755	9,816

### Kadar Zat Terbang

Pengujian kadar zat terbang (*volatile matter*) dilakukan untuk mengukur jumlah senyawa yang mudah menguap dari bahan bakar padat, seperti biopellet, ketika dipanaskan dalam kondisi tanpa suplai oksigen. Zat terbang ini umumnya berupa gas dan uap yang dilepaskan selama proses pemanasan, seperti karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), metana (CH<sub>4</sub>), serta uap air. Pengujian kadar zat terbang dilaksanakan di Laboratorium Terpadu Universitas Tidar menggunakan *muffle furnace*. Data diperoleh dengan menghitung perbandingan berat sampel sebelum dan sesudah proses pemanasan. Hasil pengujian kadar zat terbang disajikan pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Hasil Pengujian Kadar Zat Terbang

No.	Sampel Pengujian	Pengujian 1 (%)	Pengujian 2 (%)	Rata-rata (%)
1.	450°	22,433	23,676	23,054
2.	500°	20,538	21,365	20,951
3.	550°	19,329	19,786	19,557

### Kadar Karbon Tetap

Pengujian kadar karbon tetap (*fixed carbon*) dilakukan untuk menentukan jumlah karbon padat yang masih tersisa pada bahan bakar padat, seperti briket, setelah seluruh kadar air, zat terbang, dan abu dihilangkan. Karbon tetap ini berfungsi sebagai sumber panas utama dalam proses pembakaran karena memiliki laju pembakaran yang lebih lambat dibandingkan dengan zat terbang. Data pengujian kadar karbon tetap diperoleh dengan menjumlahkan kadar air, kadar abu, dan kadar zat terbang (*volatile matter*) pada sampel, kemudian mengurangkannya dari total massa sampel. Hasil pengujian kadar karbon tetap disajikan pada

Tabel 5.

**Tabel 5.** Hasil Pengujian Kadar Karbon Tetap (*Fixed Carbon*)

No.	Sampel Pengujian	Pengujian 1 (%)	Pengujian 2 (%)	Rata-rata(%)
1.	450°	59,853	57,697	58,776
2.	500°	57,697	59,333	60,153
3.	550°	62,652	61,728	62,191

#### Nilai Kalor

Pengujian nilai kalor dilakukan untuk mengukur besarnya energi panas yang dihasilkan saat bahan bakar padat, seperti briket, terbakar secara sempurna. Nilai kalor ini umumnya dinyatakan dalam satuan kalori per gram (cal/g) atau megajoule per kilogram (MJ/kg) dan merupakan indikator penting dalam menilai kualitas suatu bahan bakar. Pengujian nilai kalor dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta dengan menggunakan alat *bomb calorimeter* model Parr 6050. Hasil pengujian nilai kalor dapat dilihat pada Tabel 6.

**Tabel 6.** Hasil Pengujian Nilai Kalor

No.	Sampel Pengujian	Pengujian 1 (cal/g)	Pengujian 2 (cal/g)	Rata-rata (cal/g)
1.	450°	6,291	6,086	6,189
2.	500°	6,250	6,333	6,292
3.	550°	6,290	6,295	6,293

#### Laju Pembakaran

Pengujian laju pembakaran dilakukan untuk mengukur kecepatan pembakaran bahan bakar padat, seperti biopellet hingga habis pada kondisi tertentu. Parameter ini berperan penting dalam menilai efisiensi proses pembakaran serta menentukan kecocokan biopellet untuk berbagai kebutuhan energi. Data pengujian laju pembakaran briket diperoleh dengan menimbang massa briket pada setiap variasi, kemudian membakarnya di ruang terbuka sambil mencatat durasi waktu hingga briket habis terbakar. Hasil pengujian laju pembakaran disajikan pada Tabel 7.

**Tabel 7.** Hasil Pengujian Laju Pembakaran

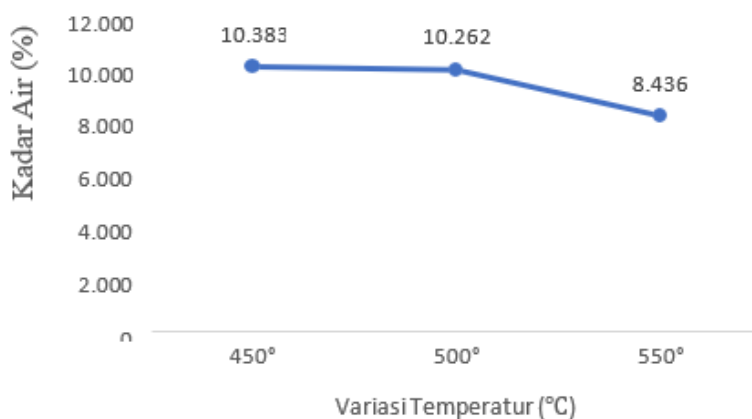
No.	Sampel Pengujian	Berat (gr)	Waktu Pembakaran (menit)	Laju Pembakaran (g/menit)
1.	450°	1,00	20,21	0,04948
2.	500°	1,10	21,04	0,05228
3.	550°	1,10	19,00	0,05789

#### Pembahasan

##### *Kadar Air*

Kadar air merupakan salah satu faktor yang berpengaruh terhadap kualitas biopellet. Semakin tinggi kadar air pada biopellet, kualitasnya akan menurun karena nilai kalor berkurang

dan pembakaran menjadi lebih sulit, dan sebaliknya, semakin rendah kadar air maka kualitas biopelet akan semakin baik. Grafik yang menampilkan kadar air biopelet pada penelitian ini disajikan pada Gambar 1.

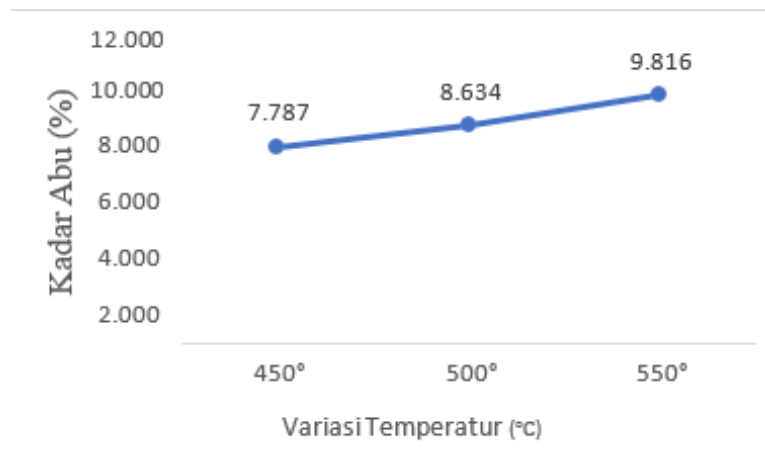


**Gambar 1.** Grafik Kadar Air

Pada Gambar 2 menunjukkan hasil uji proksimat kadar air pada biopelet dengan temperatur 450°C tercatat sebesar 10,3833%, pada temperatur 500°C sebesar 10,262%, dan pada temperatur 550°C sebesar 8,436%. Dari ketiga variasi temperatur tersebut, temperatur 550°C menghasilkan kadar air terendah. Data pada Grafik 4.1 juga menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur pada proses pirolisis maka akan semakin rendah kadar air pada produk biopelet. Semakin tinggi temperatur pirolisis, semakin besar jumlah air yang terlepas dari bahan baku melalui proses penguapan. Hal tersebut disebabkan oleh proses pirolisis pada suhu rendah yang memicu penguapan kandungan air atau yang dikenal dengan istilah dehidrasi. Pada temperatur pirolisis yang tinggi akan menyebabkan proses dehidrasi lebih cepat (Vuspayani, 2014).

### ***Kadar Abu***

Abu merupakan sisa yang dihasilkan dari proses pembakaran, dalam hal ini berasal dari biopelet. Salah satu komponen penyusun abu adalah silika. Kandungan abu yang tinggi dapat berdampak negatif terhadap nilai kalor biopelet, karena semakin tinggi kadar abu, nilai kalor akan menurun sehingga kualitas biopelet ikut berkurang. Grafik yang menunjukkan kadar abu pada biopelet dapat dilihat pada Gambar 2.

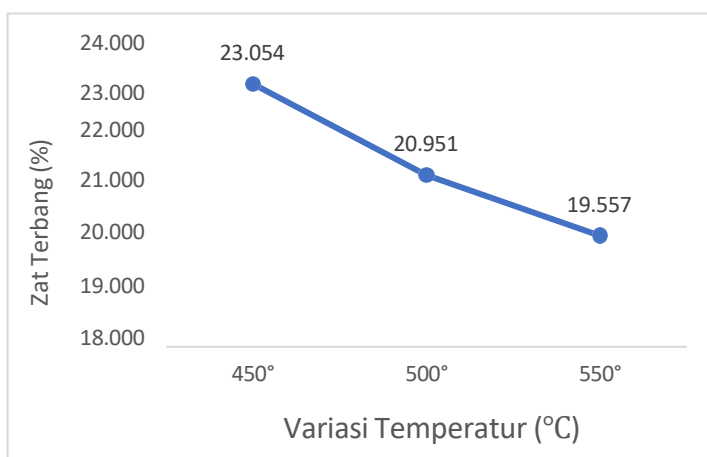


**Gambar 2.** Grafik Kadar Abu

Pada Gambar 2 menunjukkan bahwa kadar abu pada pelet berbahan ampas tebu dan kulit kopi dengan temperatur 450°C adalah 7,787%. Pada proses pirolisis dengan temperatur 500°C, kadar abu meningkat menjadi 8,634%, dan pada temperatur 550°C mencapai 9,816%. Dari ketiga variasi temperatur, pengujian pada 550°C menghasilkan kadar abu tertinggi, sedangkan kadar abu terendah diperoleh pada pengujian 450°C. Dapat diketahui bahwa kadar abu pada biopellet dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya adalah temperatur proses pirolisis. Semakin tinggi temperatur yang digunakan dalam proses pirolisis, maka kadar abu yang dihasilkan akan semakin tinggi. Peningkatan kadar abu terjadi karena terbentuknya garam-garam mineral pada saat proses pengarangan yang bila proses tersebut berlanjut akan membentuk partikel-partikel halus dari garam-garam mineral tersebut (Suidrajat, 1985). Pada penelitiannya yang menyatakan bahwa semakin tinggi temperatur pirolisis maka semakin tinggi kadar abu. Semakin tinggi temperatur pirolisis yang digunakan mengakibatkan banyaknya bahan yang terbakar menjadi abu pada saat proses pirolisis berlangsung (Moeksin, 2017).

#### ***Kadar Volatile Matter (Zat terbang)***

*Volatile matter* adalah zat yang dapat menguap akibat terurainya senyawa menjadi karbon, selain air. Kadar volatil yang tinggi pada briket dapat menghasilkan lebih banyak asap saat dibakar, karena adanya reaksi yang melibatkan karbon monoksida (CO). Dalam penelitian ini, grafik yang menunjukkan kadar abu pada biopellet dapat dilihat pada Gambar 3.

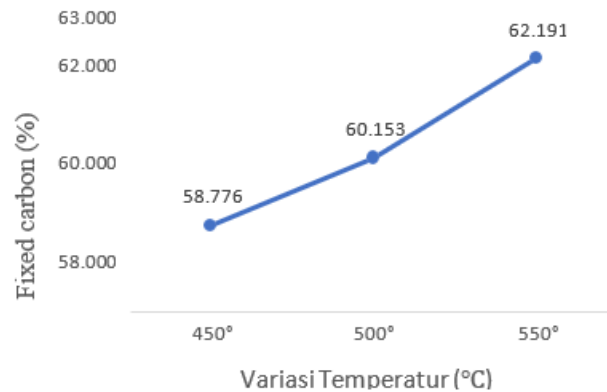


**Gambar 3.** Grafik *Volatile Matter* (Zat Terbang)

Berdasarkan Gambar 3 menunjukkan hasil uji proksimat biopelet hasil pirolisis pada temperatur 450°C memiliki nilai *volatile matter* sebesar 23,054%. Pada temperatur 500°C, nilainya menurun menjadi 20,951%, sedangkan pada temperatur 550°C turun lagi menjadi 19,557%. Dari ketiga variasi temperatur, nilai *volatile matter* tertinggi diperoleh pada 450°C dan terendah pada 550°C dengan selisih 7,01%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur proses pirolisis, semakin rendah nilai *volatile matter* yang dihasilkan. Pada penelitian ini, selama proses karbonisasi berlangsung, banyak udara yang masuk ke dalam *furnace* sehingga menghasilkan asap dalam jumlah besar. Kondisi ini memengaruhi kadar zat terbang pada biopelet, menurut Wulandari dan Lestari (2024).

#### ***Kadar Fixed Carbon (Karbon terikat)***

Kandungan *fixed carbon* pada briket dipengaruhi oleh kadar abu, kadar air, dan *volatile matter*. Nilai karbon terikat berperan penting dalam menentukan kualitas briket, di mana semakin tinggi nilainya, maka kualitas briket akan semakin baik. Kandungan karbon terikat akan tinggi jika kadar abu dan tingkat dekomposisi senyawa volatil berada pada tingkat rendah. Arang yang baik adalah yang memiliki karbon terikat yang tinggi karena pada proses pembakaran membutuhkan karbon yang bereaksi dengan oksigen untuk menghasilkan kalor (Ristianingsih et al., 2015). Pada penelitian ini, grafik yang menampilkan kadar *fixed carbon* pada briket disajikan pada Gambar 4.

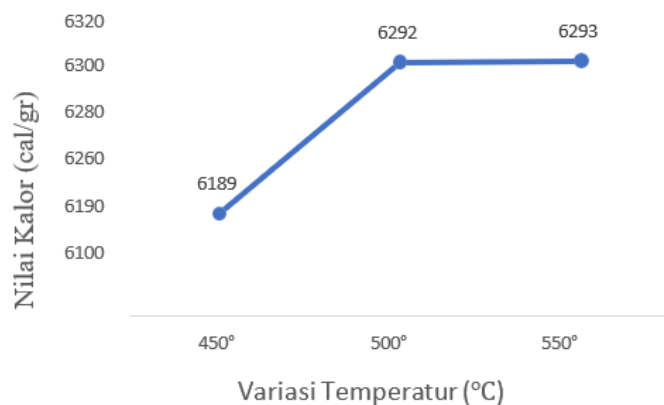


**Gambar 4.** Grafik Kadar *Fixed Carbon*

Parameter kadar karbon terikat pada briket menunjukkan bahwa kandungan karbon terikat hasil uji proksimat menunjukkan bahwa biopellet hasil pirolisis pada temperatur 450°C memiliki *fixed carbon* sebesar 58,776%. Pada temperatur 500°C nilainya meningkat menjadi 60,153%, dan pada temperatur 550°C mencapai 62,191%. Dari pengujian pirolisis tersebut dapat disimpulkan bahwa peningkatan temperatur pada proses pirolisis ampas tebu dan kulit kopi akan menghasilkan nilai *fixed carbon* yang lebih tinggi. Suhu yang semakin tinggi akan meningkatkan kandungan karbon karena dehidrasi lebih sempurna dan adanya penghilangan produk-produk yang mudah menguap, suhu yang semakin tinggi akan meningkatkan kandungan karbon karena dehidrasi lebih sempurna dan adanya penghilangan produk-produk yang mudah menguap (Sjostrom, 1995). Keberadaan karbon tetap dalam bahan bakar padat dipengaruhi oleh nilai kadar zat terbang. Kadar karbon tetap bernilai tinggi apabila kadar zat terbangnya rendah (Wijayanti, 2009).

#### **Nilai Kalor**

Nilai kalor merupakan parameter yang menentukan baik atau tidaknya kualitas suatu bahan bakar. Semakin tinggi nilai kalor, semakin baik kualitas bahan bakar tersebut. Oleh karena itu, nilai kalor dijadikan acuan dalam mengevaluasi kualitas bahan bakar. Nilai kalor pada briket dipengaruhi oleh kadar air dan kadar abu, di mana semakin tinggi kedua kandungan tersebut, maka semakin rendah nilai kalor yang dihasilkan briket arang. Grafik nilai kalor dapat ditunjukkan pada Gambar 5.



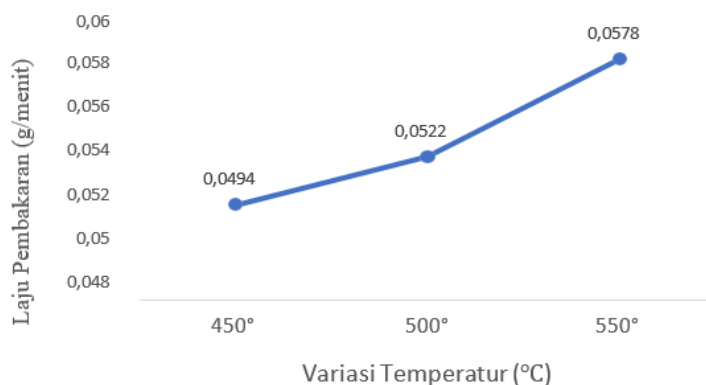
**Gambar 5.** Grafik Pengujian Nilai Kalor

Pada Gambar 5 terlihat bahwa ampas tebu dan kulit kopi pada temperatur 450°C menghasilkan nilai kalor sebesar 6189 kal/gr. Pada temperatur 500°C, nilai kalor meningkat menjadi 6292 kal/gr. Hasil pengujian menggunakan *bomb calorimeter* pada temperatur 550°C menunjukkan nilai kalor tertinggi, yaitu 6293 kal/gr. Dibandingkan ketiga eksperimen tersebut, temperatur 450°C menghasilkan nilai kalor terendah, sedangkan temperatur 550°C menghasilkan nilai kalor tertinggi.

Nilai kalor merupakan salah satu parameter penting dalam pemilihan bahan bakar padat seperti pelet biomassa; nilai kalor yang semakin tinggi menunjukkan kualitas bahan bakar yang semakin baik (Adrian et al., 2015). Dengan demikian, peningkatan temperatur pada proses pirolisis akan menghasilkan nilai kalor yang lebih tinggi.

#### **Nilai Laju Pembakaran**

Laju pembakaran diuji untuk mengetahui perubahan massa briket saat dibakar. Pengujian dilakukan dengan menyalakan briket, kemudian mengukur massanya menggunakan timbangan digital serta mencatat durasi pembakarannya dengan *stopwatch*. Hasil laju pembakaran briket ditampilkan pada Gambar 6.



**Gambar 6.** Grafik Laju Pembakaran

Dapat dilihat pada Tabel 6 hasil laju pembakaran menunjukkan perbedaan, di mana biopellet pada temperatur 550°C memiliki waktu pembakaran terlama, sedangkan waktu pembakaran tercepat terdapat pada temperatur 450°C. Laju pembakaran pada temperatur 450°C sebesar 0,04948 gram/detik dengan durasi nyala 20,21 menit. Pada temperatur 500°C, laju pembakaran sebesar 0,05228 gram/detik dengan durasi nyala api 21,04 menit, sedangkan pada temperatur 550°C, laju pembakaran mencapai 0,05789 gram/detik dengan durasi nyala api 19,00 menit. Perbedaan laju pembakaran ini dipengaruhi oleh nilai kalor briket; semakin tinggi nilai kalor, semakin optimal proses pembakarannya. Selain itu, kadar air dan kadar zat terbang juga berperan, di mana semakin tinggi kadar air, waktu pembakaran akan semakin lama, sedangkan semakin tinggi kadar volatil, laju pembakaran akan semakin cepat.

### Karakteristik Biopellet

**Tabel 8.** Karakteristik Nilai Biopellet

Sampel Pengujian	Kadar Air (%)	Kadar Abu (%)	Zat Terbang (%)	Karbon Terikat (%)	Nilai Kalor (cal/g)
450°	10,383	7,787	23,054	58,776	6,189
500°	10,262	8,634	20,951	60,153	6,292
550°	8,436	9,816	19,557	62,191	6,293

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan, diketahui bahwa variasi temperatur proses pirolisis memengaruhi hasil uji proksimat, di mana analisis menunjukkan semakin tinggi temperatur proses pirolisis, kadar abu akan meningkat, sedangkan kadar air dan senyawa volatil akan menurun. Sementara itu, nilai *fixed carbon* dipengaruhi oleh kadar air, abu, dan senyawa volatil. Biopellet dengan kualitas terbaik diperoleh dari sampel ampas tebu dan kulit kopi dengan temperatur proses pirolisis 550°C, dengan kadar zat terbang, kadar karbon terikat, dan nilai kalor tertinggi serta kadar air terendah. Untuk nilai kadar abu terendah diperoleh pada temperatur 450°C.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian mengenai pemanfaatan sabut kelapa yang dipirolisis pada variasi temperatur 450°C, 500°C, dan 550°C telah berhasil dilaksanakan. Berdasarkan hasil yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa variasi temperatur proses pirolisis memengaruhi nilai kadar proksimat yang dihasilkan. Nilai kadar air tertinggi diperoleh sebesar 10,383% pada temperatur 450°C, sedangkan nilai kadar air terendah sebesar 8,436% pada temperatur 550°C. Nilai kadar abu tertinggi diperoleh sebesar 9,816% pada temperatur 550°C, sedangkan nilai kadar abu terendah sebesar 7,787% pada temperatur 450°C. Nilai kadar zat terbang tertinggi diperoleh sebesar 23,054% pada temperatur 450°C, sedangkan nilai kadar zat terbang terendah sebesar 19,557%



pada temperatur 550°C. Nilai kadar karbon terikat tertinggi diperoleh sebesar 62,191% pada temperatur 550°C, sedangkan nilai kadar karbon terikat terendah sebesar 58,776% pada temperatur 450°C. Selain itu, variasi temperatur proses pirolisis juga memengaruhi nilai kalor yang dihasilkan, di mana nilai kalor tertinggi diperoleh sebesar 6.293 kal/g pada temperatur 550°C, sedangkan nilai kalor terendah sebesar 6.189 kal/g pada temperatur 450°C. Variasi temperatur proses pirolisis juga memengaruhi laju pembakaran, di mana laju pembakaran paling lama terdapat pada sampel dengan temperatur 450°C sebesar 0,04948 gram/detik, sedangkan laju pembakaran paling cepat diperoleh sebesar 0,05789 gram/detik pada temperatur 550°C.

## DAFTAR REFERENSI

- Al Qadry, M. G., Saputro, D. D., & Widodo, R. D. (2023). Karakteristik dan uji pembakaran biopellet campuran cangkang kelapa sawit dan serbuk kayu sebagai bahan bakar alternatif terbarukan. *Jurnal Inovasi Mesin*, 5(1), 21–29. <https://doi.org/10.15294/jim.v5i1.68759>
- Caturwati, N. K., Sudrajat, A., Haryanto, H., Pinem, M. P., & Reiza, R. (2017). Energi dan mesin-mesin konversi energi. *Jurnal Teknik Mesin Untirta*, 1(1).
- Fithriyyah, D., Wulandari, E., & Sendjaja, T. P. (2020). Potensi komoditas kopi dalam perekonomian daerah di Kecamatan Pangalengan Kabupaten Bandung. *Jurnal Pemikiran Masyarakat Ilmiah Berwawasan Agribisnis*, 6(2), 700–714. <https://doi.org/10.25157/ma.v6i2.3408>
- Khusraini, F., Ridwan, R., Ridhuan, K., & Irawan, D. (2021). Pengaruh jumlah pipa udara pada reaktor pembakaran pirolisis terhadap hasil arang dan asap cair. *ARMATUR: Artikel Teknik Mesin & Manufaktur*, 2(2), 106–114. <https://doi.org/10.24127/armatur.v2i2.1450>
- Kuncoro, A. H. (2017). Uji potensi pembuatan briket bioarang dari ladak sebagai bahan bakar alternatif. *Al Jazari Journal of Mechanical Engineering*, 2(2), 22–34.
- Lehmann, J., & Joseph, S. (Eds.). (2015). *Biochar for environmental management: Science, technology and implementation*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203762244>
- Leistari, L., Hasan, E. S., & Risna, R. (2017). Pengaruh tekanan dan ukuran partikel terhadap kualitas briket arang cangkang coklat. *Jurnal Aplikasi Fisika*, 13(2), 1–8.
- Mardiatmoko, G., & Mira, A. (2018). Badan Penerbit Fakultas Pertanian Universitas Pattimura.
- Nurhilal, O., & Suryaningsih, S. (2018). Pengaruh komposisi campuran sabut dan tempurung kelapa terhadap nilai kalor biobriket dengan perekat molase. *Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika*, 2(1), 8–14. <https://doi.org/10.24198/jiif.v2i1.15606>
- Parinduri, L., & Parinduri, T. (n.d.). Konversi biomassa sebagai sumber energi terbarukan. *JET (Journal of Electrical Technology)*.
- Rismayani, S., & Tayibnapis, A. S. (2011). Pembuatan bio-briket dari limbah sabut kelapa dan bottom ash. *Arena Tekstil*, 26(1). <https://doi.org/10.31266/at.v26i1.1441>

- Rusdianto, A. S., Septiyatha, F., & Chiron, M. (2018). Analisis kelayakan finansial industri biopellet kulit kopi di Kabupaten Jember. *Industria: Jurnal Teknologi dan Manajemen Agroindustri*, 7(2), 89–94. <https://doi.org/10.21776/ub.industria.2018.007.02.3>
- Setiani, V., et al. (2019). Potensi emisi dari pembakaran biobriket ampas tebu dan tempurung kelapa. In *Seminar MASTER* (pp. 115–118).
- Setyawan, B., & Ulfa, R. (2019). Pengaruh komposisi bahan baku dan perekat terhadap emisi gas briket arang kulit kopi dan tempurung kelapa. In *Prosiding Konferensi*.
- Sidiq, A. N. (2022). Pengaruh co-firing biomassa terhadap efisiensi boiler PLTU batubara. *Kilat*, 11(1), 21–31. <https://doi.org/10.33322/kilat.v11i1.1553>