



Pengaruh Variasi Komposisi Sekam Padi dan Arang Tempurung Kelapa terhadap Nilai Kalor dan Laju Pembakaran Biobriket

Nurul Yaqin Rusna Dewi^{1*}, Sukainil Ahzan², Dwi Pangga³

Program Studi pendidikan Fisika, Universitas Pendidikan Mandalika, Jl. Pemuda No.59A, Mataram, Kota Mataram, NTB. Indonesia 83125

Email Korespondensi: rusnadewi29@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi komposisi sekam padi (ASP) dan arang tempurung kelapa (ATK) terhadap karakteristik biobriket, seperti kadar air, kadar abu, densitas, nilai kalor, dan laju pembakaran. Variasi komposisi bahan adalah 0%-90% ASP dan 90%-0% ATK, dengan perekat tepung tapioka sebesar 10%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kalor tertinggi (9.034 kkal/g) ditemukan pada komposisi 45% ASP + 45% ATK, sementara laju pembakaran tertinggi (0,7254 g/menit) pada komposisi 90% ASP + 0% ATK. Biobriket dengan komposisi optimal (45% ASP + 45% ATK) memiliki keseimbangan antara nilai kalor tinggi dan pembakaran stabil. Semua sampel memenuhi standar SNI untuk kadar air (maksimal 8%) dan nilai kalor (minimal 5000 kkal/g). Penelitian ini menunjukkan potensi biobriket berbasis limbah pertanian sebagai bahan bakar alternatif yang berkelanjutan.

Kata kunci: Biobriket, Sekam Padi, Tempurung Kelapa, Nilai Kalor, Laju Pembakaran.

The Effect of Rice Husk and Coconut Shell Charcoal Composition Variations on the Calorific Value and Combustion Rate of Biobriquettes

Abstract

This study aims to evaluate the effect of rice husk (ASP) and coconut shell charcoal (ATK) composition variations on biobriquette characteristics, including moisture content, ash content, density, calorific value, and combustion rate. The composition variations ranged from 0%-90% ASP and 90%-0% ATK, with 10% tapioca starch as a binder. Results indicated the highest calorific value (9.034 kkal/g) at 45% ASP + 45% ATK, while the highest combustion rate (0.7254 g/min) was observed at 90% ASP + 0% ATK. Biobriquettes with an optimal composition (45% ASP + 45% ATK) achieved a balance of high calorific value and stable combustion. All samples met the SNI standards for moisture content (maximum 8%) and calorific value (minimum 5000 kkal/g). This study highlights the potential of agricultural waste-based biobriquettes as a sustainable alternative fuel source.

Keywords: Biobriquette, Rice Husk, Coconut Shell, Calorific Value, Combustion Rate.

How to Cite: Dewi, N. Y. R., Ahzan, S., & Pangga, D. (2024). Pengaruh Variasi Komposisi Sekam Padi dan Arang Tempurung Kelapa terhadap Nilai Kalor dan Laju Pembakaran Biobriket. *Empiricism Journal*, 5(2), 240–253. <https://doi.org/10.36312/ej.v5i2.2027>



<https://doi.org/10.36312/ej.v5i2.2027>

Copyright© 2024, Dewi et al.

This is an open-access article under the [CC-BY-SA](#) License.



PENDAHULUAN

Kebutuhan energi di Indonesia terus meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi dan aktivitas ekonomi. Sumber energi utama masyarakat masih didominasi oleh bahan bakar fosil seperti minyak tanah, gas, dan batu bara. Namun, cadangan bahan bakar fosil semakin menipis, sementara penggunaannya menghasilkan dampak negatif bagi lingkungan, seperti emisi karbon dioksida (CO₂) yang berkontribusi terhadap perubahan iklim global (Moiceanu, 2023). Ketergantungan yang tinggi pada bahan bakar fosil juga menjadikan Indonesia rentan terhadap fluktuasi harga energi global, yang berpotensi mengganggu stabilitas ekonomi domestik. Oleh karena itu, pengembangan sumber energi alternatif yang ramah lingkungan, terjangkau, dan dapat diperbarui sangat diperlukan untuk mendukung ketahanan energi nasional (Maharani et al., 2022).

Salah satu sumber energi alternatif yang menjanjikan adalah biomassa. Biomassa merupakan sumber daya yang dapat diperbarui dan tersedia secara melimpah, khususnya di negara agraris seperti Indonesia. Limbah pertanian, seperti sekam padi, tempurung kelapa, ampas tebu, dan tongkol jagung, telah diidentifikasi sebagai bahan baku potensial

untuk produksi bioenergi (Kalsum, 2016). Pemanfaatan biomassa tidak hanya membantu mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil tetapi juga menawarkan solusi untuk pengelolaan limbah yang lebih berkelanjutan. Secara lingkungan, biomassa bersifat karbon-netral, karena jumlah karbon yang dilepaskan selama pembakaran setara dengan karbon yang diserap tanaman selama pertumbuhannya (Margaritis et al., 2023). Dengan demikian, penggunaan biomassa dapat membantu menekan emisi gas rumah kaca dan meningkatkan kualitas udara lokal (Gan et al., 2012).

Dari perspektif ekonomi, produksi bioenergi berbasis biomassa, seperti biobriket, memiliki potensi untuk menciptakan peluang kerja di sektor produksi, pemrosesan, dan distribusi biomassa, terutama di daerah pedesaan. Teknologi ini juga dapat menyediakan alternatif energi yang lebih murah dan terjangkau bagi masyarakat, terutama di wilayah terpencil yang sulit dijangkau oleh distribusi bahan bakar fosil (Sulaiman et al., 2015). Meski demikian, beberapa tantangan tetap ada, seperti investasi awal yang diperlukan untuk pengembangan teknologi produksi, efisiensi konversi energi yang lebih rendah dibandingkan bahan bakar fosil, dan kebutuhan pengelolaan sumber biomassa secara berkelanjutan agar tidak merusak lingkungan (Schäfer, 2016; Yemshanov et al., 2018).

Sekam padi dan tempurung kelapa adalah dua limbah pertanian yang melimpah dan memiliki potensi besar untuk dijadikan bahan baku biobriket. Menurut penelitian sebelumnya, nilai kalor sekam padi mencapai 16,51 MJ/kg, sedangkan tempurung kelapa memiliki nilai kalor hingga 18,60 MJ/kg, bergantung pada metode pengolahan dan komposisi bahan yang digunakan (Sebastine, 2023; Tanko et al., 2020). Karakteristik ini menjadikan keduanya unggul dibandingkan limbah pertanian lain, seperti tongkol jagung atau ampas tebu, yang memiliki nilai kalor lebih rendah (Oladeji & Enweremadu, 2012). Selain itu, kandungan lignin yang tinggi pada tempurung kelapa dan kadar abu yang rendah pada kedua bahan ini meningkatkan efisiensi pembakaran serta menekan emisi polutan (Tanko et al., 2020; Qistina et al., 2016).

Di Indonesia, sekam padi sering kali dibakar langsung atau digunakan untuk produksi bata merah, yang menyebabkan pencemaran lingkungan. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS), produksi gabah nasional pada tahun 2015 mencapai 75,5 juta ton, dengan sekam padi sebagai limbah dominan (Sofyana et al., 2021). Sementara itu, tempurung kelapa sering kali tidak dimanfaatkan secara maksimal, meskipun memiliki kandungan karbon yang tinggi dan stabilitas termal yang baik (Anggoro et al., 2017). Oleh karena itu, pemanfaatan kedua bahan ini untuk produksi biobriket tidak hanya menawarkan solusi untuk pengelolaan limbah, tetapi juga berkontribusi pada ketahanan energi nasional.

Meskipun berbagai studi telah dilakukan untuk mengeksplorasi potensi sekam padi dan tempurung kelapa sebagai bahan baku biobriket, sebagian besar penelitian sebelumnya hanya berfokus pada penggunaan salah satu bahan. Sebagai contoh, Aljarwi et al. (2020) mempelajari pengaruh tekanan terhadap nilai kalor dan laju pembakaran briket berbasis sekam padi, sementara Sukarti et al. (2023) mengkaji variasi bahan perekat pada briket tempurung kelapa. Namun, kombinasi sekam padi dan tempurung kelapa, serta pengaruh variasi komposisi kedua bahan terhadap karakteristik seperti kadar air, kadar abu, dan densitas, belum diteliti secara mendalam.

Selain itu, penelitian terdahulu sering kali tidak memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI) terkait karakteristik minimum biobriket, seperti nilai kalor di atas 5000 kkal/g dan kadar abu di bawah 8% (Kalsum, 2016). Oleh karena itu, diperlukan studi lebih lanjut yang mengintegrasikan kedua bahan ini dengan variasi komposisi yang tepat untuk menghasilkan biobriket berkualitas tinggi yang memenuhi standar nasional.

Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi pengaruh variasi komposisi sekam padi dan tempurung kelapa terhadap karakteristik biobriket, termasuk nilai kalor, kadar abu, kadar air, densitas, dan laju pembakaran. Dengan pendekatan ini, diharapkan dapat diperoleh kombinasi bahan yang optimal untuk menghasilkan biobriket berkualitas tinggi yang sesuai dengan SNI. Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi penting dalam pengembangan energi terbarukan di Indonesia, khususnya dalam pemanfaatan limbah pertanian sebagai bahan bakar alternatif. Selain itu, hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai dasar untuk pengembangan standar produksi biobriket yang lebih baik di tingkat lokal maupun nasional. Dengan mengatasi tantangan yang ada, seperti efisiensi energi dan

pengelolaan limbah, penelitian ini dapat mendukung implementasi teknologi energi terbarukan yang berkelanjutan di Indonesia.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen yang dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh variasi komposisi sekam padi (ASP) dan tempurung kelapa (ATK) terhadap karakteristik biobriket, seperti kadar air, kadar abu, densitas, nilai kalor, dan laju pembakaran. Penelitian dilakukan di laboratorium Fisika Universitas Pendidikan Mandalika (UNDIKMA) pada November 2023 hingga Mei 2024.

Alat dan Bahan

Alat

1. Wajan dan kompor: Untuk proses pengarangan sekam padi dan tempurung kelapa.
2. Nampian dan ayakan: Untuk menyaring arang agar mendapatkan ukuran partikel yang seragam.
3. Tabung ukur: Untuk mengukur volume bahan perekat.
4. Cetakan kubus: Dengan dimensi standar untuk membentuk biobriket.
5. Alat pengepres manual: Untuk memberikan tekanan pada bahan yang telah dicampur.
6. Timbangan digital: Untuk menimbang bahan dengan presisi.
7. Thermometer: Untuk mengukur perubahan suhu selama pengujian nilai kalor.

Bahan

1. Sekam padi: Limbah dari proses penggilingan padi, dikarakterisasi oleh kadar silika yang tinggi (Ikelle et al., 2020).
2. Tempurung kelapa: Limbah rumah tangga dengan kandungan karbon tinggi dan densitas besar (Anggoro et al., 2017).
3. Perekat tepung tapioka: Digunakan dalam konsentrasi 10% untuk meningkatkan kohesi bahan.
4. Air: Digunakan dalam proses pembuatan perekat.

Prosedur Penelitian

Preparasi Bahan

1. Sekam padi dan tempurung kelapa dikeringkan di bawah sinar matahari selama 2-3 hari untuk menurunkan kadar air awal.
2. Proses pengarangan dilakukan:
 - Sekam padi disangrai di atas wajan hingga berubah menjadi arang.
 - Tempurung kelapa dibakar hingga menjadi arang dengan karbonisasi maksimum.
3. Arang sekam padi dan tempurung kelapa dihancurkan dan diayak menggunakan ayakan dengan ukuran partikel < 2 mm untuk memastikan ukuran partikel seragam.

Pembuatan Perekat

Perekat dibuat dengan mencampurkan 100 gram tepung tapioka dengan 500 ml air dalam perbandingan 1:5, kemudian dipanaskan sambil diaduk hingga mengental.

Komposisi Bahan Baku Biobriket

Komposisi bahan baku bervariasi antara sekam padi (ASP) dan tempurung kelapa (ATK) dengan persentase perekat tetap sebesar 10%.

Tabel 1. Variasi komposisi Bahan Baku Biobriket

Sampel	ASP (%)	ATK (%)	Perekat (%)
A	0	90	10
B	15	75	10
C	30	60	10
D	45	45	10
E	60	30	10
F	75	15	10
G	90	0	10

Pencetakan Biobriket

1. Campuran bahan (ASP dan ATK) dan perekat ditimbang sesuai komposisi dalam Tabel 1.

2. Bahan dicampur hingga homogen, lalu dimasukkan ke dalam cetakan berbentuk kubus.
3. Campuran dikempa menggunakan alat pengepres manual untuk menghasilkan briket dengan kepadatan seragam.
4. Biobriket yang dihasilkan dikeringkan di bawah sinar matahari selama 6 hari.

Analisis karakteristik biobriket

a. Analisis Kadar Air

Kadar air merupakan jumlah air yang terkandung dalam suatu bahan dan dinyatakan dalam bentuk persen (%) (Sukarti et al., 2023).

$$\%Kadar\ Air = \frac{m-m'}{m} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

Dimana:

m = Massa Briket Sebelum Dijemur (gr)

m' = Massa Briket Setelah Dijemur (gr)

b. Analisis Kadar Abu

Kadar abu merupakan bahan sisa pada briket Ketika briket dinyalakan (Kalsum, 2016).

$$\%Kadar\ Abu = \frac{M_a}{M_b} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

Dimana:

M_a = Massa Abu (gr)

M_b = Massa Briket Bioarang (gr)

c. Analisis Kerapatan/Densitas

Densitas adalah sifat dasar materi yang didefinisikan sebagai massa per satuan volume dalam suatu bahan.

$$\rho = \frac{m}{V} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana:

ρ = Densitas Briket (gr/cm³)

m = Massa Biobriket (gr)

V = Volume Biobriket (cm³)

d. Analisis Nilai Kalor

Nilai kalor adalah jumlah energi panas maksimum yang dihasilkan dari persatuan massa atau volume bahan bakar yang dibebaskan oleh suatu bahan bakar melalui reaksi pembakaran sempurna.

$$Q = m \times c \times \Delta T \dots\dots\dots (4)$$

Dimana:

Q = Nilai Kalor (Joule)

m = Massa Air (kg)

c = Kalor Jenis Air (J/kg)

ΔT = Perubahan Suhu (K)

e. Analisis Laju Pembakaran

Laju pembakaran merupakan kecepatan suatu briket untuk terbakar. Semakin besar laju pembakaran, maka akan semakin cepat briket tersebut habis terbakar (Sukarti et al., 2023).

$$Laju\ Pembakaran = \frac{\Delta m}{t} \dots\dots\dots (5)$$

Dimana:

Δm = Massa Briket Terbakar (Massa briket awal – Massa briket sisa)

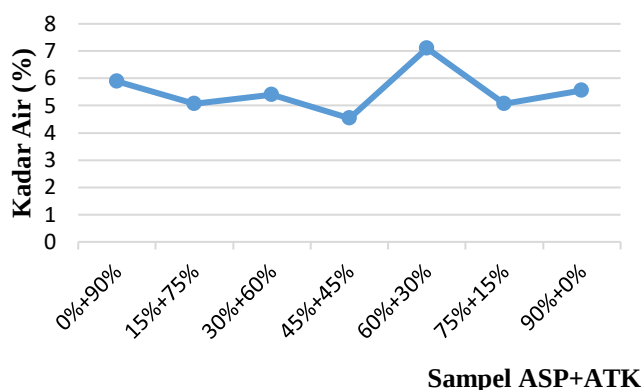
t = Waktu Pembakaran (Menit)

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Kadar Air Biobriket

Kadar air merupakan parameter krusial yang memengaruhi efisiensi pembakaran biobriket. Semakin tinggi kadar air, semakin banyak energi yang digunakan untuk menguapkan air selama pembakaran, yang menyebabkan penurunan efisiensi energi dan nilai kalor. Dalam penelitian ini, kadar air biobriket yang dihasilkan berkisar antara 4,5345%

hingga 7,1030%. Kadar air terendah ditemukan pada sampel dengan komposisi 45% ASP + 45% ATK (Sampel D), sementara kadar air tertinggi terdapat pada komposisi 60% ASP + 30% ATK (Sampel E). Hal ini menunjukkan adanya pengaruh langsung dari variasi komposisi bahan terhadap kadar air biobriket (Gambar 1).



Gambar 1. Diagram kadar air ASP dan ATK

Pengaruh Komposisi Sekam Padi dan Tempurung Kelapa

Penambahan sekam padi dalam komposisi biobriket cenderung meningkatkan kadar air. Hal ini disebabkan oleh sifat higroskopik sekam padi, yang memiliki kemampuan menyerap dan menyimpan air lebih banyak dibandingkan tempurung kelapa. Sebaliknya, tempurung kelapa memiliki struktur yang lebih padat dan kandungan lignin yang lebih tinggi, sehingga cenderung lebih tahan terhadap kelembaban. Penelitian ini konsisten dengan temuan sebelumnya, di mana kadar air biobriket dengan kandungan sekam padi tinggi lebih besar dibandingkan biobriket berbasis tempurung kelapa (Siu et al., 2021).

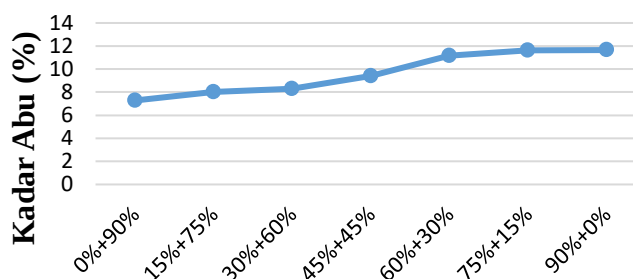
Sebagai contoh, Sampel D (45% ASP + 45% ATK) yang menunjukkan kadar air terendah, merupakan hasil dari keseimbangan optimal antara sekam padi dan tempurung kelapa. Kombinasi ini memungkinkan penyerapan kelembaban yang lebih rendah, sekaligus menjaga struktur biomassa tetap padat. Di sisi lain, Sampel E (60% ASP + 30% ATK) memiliki kadar air yang lebih tinggi, yang mencerminkan dominasi sekam padi dalam campuran tersebut.

Hasil penelitian ini sejalan dengan Aljarwi et al. (2020), di mana kadar air biobriket berbasis sekam padi dilaporkan berkisar antara 5,65% hingga 6,45%. Selain itu, temuan ini juga menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan beberapa biobriket lain, seperti biobriket berbasis jagung atau ampas tebu, yang rata-rata memiliki kadar air di atas 7% (Ikelle et al., 2020). Kombinasi penggunaan sekam padi dan tempurung kelapa terbukti dapat mengurangi kadar air dibandingkan dengan penggunaan salah satu bahan secara tunggal.

Kadar air yang rendah pada biobriket, terutama pada Sampel D (4,5345%), sangat ideal untuk aplikasi rumah tangga dan industri kecil. Kelebihan ini memastikan bahwa biobriket dapat menghasilkan pembakaran yang efisien tanpa menghasilkan asap berlebih, yang sering terjadi akibat kadar air tinggi. Selain itu, biobriket dengan kadar air rendah lebih mudah disimpan dalam jangka panjang tanpa risiko penurunan kualitas. Kombinasi ini menunjukkan potensi biobriket berbasis sekam padi dan tempurung kelapa sebagai alternatif bahan bakar yang kompetitif dan ramah

B. Analisis Kadar Abu Biobriket

Kadar abu adalah residu yang tersisa setelah pembakaran biobriket, yang mencerminkan kandungan mineral dalam bahan baku. Abu yang dihasilkan tidak memiliki nilai kalor dan dapat mengurangi efisiensi pembakaran jika kadarnya terlalu tinggi. Dalam penelitian ini, kadar abu biobriket berkisar antara 7,2807% hingga 11,6518%, dengan kadar abu terendah ditemukan pada Sampel A (0% ASP + 90% ATK) dan kadar abu tertinggi pada Sampel G (90% ASP + 0% ATK) (Gambar 2).



Sampel ASP+ATK

Gambar 2. Diagram kadar abu Biobriket ASP dan ATK

Pengaruh Komposisi Sekam Padi dan Tempurung Kelapa

Komposisi sekam padi dalam biobriket secara langsung memengaruhi kadar abu. Kandungan silika yang tinggi dalam sekam padi, yang dapat mencapai 20% dari berat keringnya (Ikelle et al., 2020), merupakan penyebab utama peningkatan kadar abu. Sebaliknya, tempurung kelapa memiliki kandungan abu yang lebih rendah karena struktur karbonnya lebih dominan dibandingkan kandungan mineral.

Sampel A (0% ASP + 90% ATK), yang hanya mengandung tempurung kelapa, memiliki kadar abu paling rendah sebesar 7,2807%, memenuhi standar SNI (maksimal 8%). Sementara itu, Sampel G (90% ASP + 0% ATK), yang didominasi sekam padi, memiliki kadar abu tertinggi sebesar 11,6518%, melampaui batas standar. Temuan ini menunjukkan bahwa peningkatan proporsi sekam padi dalam campuran menyebabkan kadar abu yang lebih tinggi.

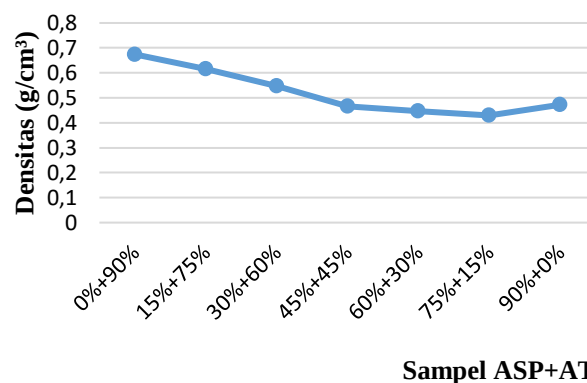
Hasil penelitian ini mendukung temuan oleh Yuliza et al. (2013), yang menunjukkan bahwa peningkatan kandungan sekam padi dalam biobriket menghasilkan kadar abu yang lebih tinggi. Selain itu, kadar abu tempurung kelapa dalam penelitian ini konsisten dengan laporan Widjaya et al. (2022), yang mencatat kadar abu tempurung kelapa rata-rata di bawah 8%, menjadikannya bahan yang lebih ideal untuk mengurangi residu pembakaran.

Jika dibandingkan dengan biobriket berbasis biomassa lain, seperti tongkol jagung atau ampas tebu, kadar abu biobriket berbasis sekam padi dan tempurung kelapa berada dalam kisaran yang serupa. Sebagai contoh, biobriket berbasis tongkol jagung memiliki kadar abu sekitar 6%-10% tergantung pada metode pengolahannya (Bediako et al., 2020).

Hanya Sampel A yang memenuhi standar kadar abu SNI (maksimal 8%). Sampel lainnya, terutama dengan proporsi sekam padi tinggi, tidak memenuhi standar ini, yang menyoroti perlunya optimasi lebih lanjut dalam komposisi bahan untuk menghasilkan biobriket dengan residu abu minimal. Untuk aplikasi rumah tangga dan industri kecil, kadar abu yang rendah sangat penting agar biobriket dapat digunakan dengan mudah tanpa membutuhkan pemeliharaan alat pembakaran yang intensif. Biobriket dengan kadar abu rendah, seperti Sampel A, lebih cocok untuk kebutuhan ini. Namun, untuk penggunaan di daerah pedesaan di mana pengelolaan abu mungkin kurang menjadi perhatian utama, biobriket dengan kadar abu lebih tinggi dapat tetap bermanfaat asalkan nilai kalor dan efisiensi pembakarannya tetap terjaga.

C. Analisis Densitas Biobriket

Densitas biobriket adalah ukuran kerapatan material, yang memainkan peran penting dalam menentukan sifat pembakaran, kekuatan mekanik, serta efisiensi energi biobriket. Dalam penelitian ini, densitas biobriket yang dihasilkan berkisar antara 0,4294 g/cm³ hingga 0,6742 g/cm³. Sampel A (0% ASP + 90% ATK) menunjukkan densitas tertinggi, sementara Sampel F (75% ASP + 15% ATK) memiliki densitas terendah (Gambar 3). Hal ini menunjukkan adanya hubungan antara komposisi bahan baku dengan densitas biobriket yang dihasilkan.



Gambar 3. Diagram densitas biobriket ASP dan ATK

Pengaruh Komposisi Sekam Padi dan Tempurung Kelapa

Densitas biobriket dipengaruhi oleh sifat fisik dari bahan baku. Tempurung kelapa memiliki struktur yang lebih padat dan tingkat lignin yang lebih tinggi dibandingkan sekam padi, yang cenderung lebih ringan dan memiliki rongga udara lebih besar. Oleh karena itu, penambahan tempurung kelapa dalam komposisi meningkatkan densitas, sedangkan peningkatan proporsi sekam padi cenderung menurunkan densitas.

Sebagai contoh:

- Sampel A (0% ASP + 90% ATK), yang hanya mengandung tempurung kelapa, memiliki densitas tertinggi (0,6742 g/cm³). Struktur yang padat ini cocok untuk pembakaran yang lebih lama dan konsisten.
- Sampel F (75% ASP + 15% ATK), yang didominasi sekam padi, memiliki densitas terendah (0,4294 g/cm³). Densitas yang rendah ini memungkinkan pembakaran lebih cepat karena udara dapat dengan mudah mengalir melalui pori-pori biobriket.

Hasil penelitian ini sejalan dengan temuan oleh Siu et al. (2021), di mana densitas biobriket berbanding terbalik dengan kandungan sekam padi. Biobriket berbasis tempurung kelapa menunjukkan densitas yang lebih tinggi dibandingkan bahan biomassa lain seperti tongkol jagung, yang rata-rata memiliki densitas sekitar 0,35 g/cm³ (Bediako et al., 2020).

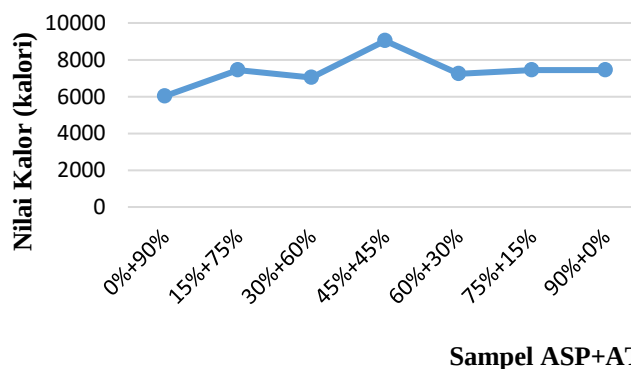
Jika dibandingkan dengan biobriket serbuk gergaji, yang rata-rata memiliki densitas 0,8 g/cm³ (Ikelle et al., 2020), biobriket dalam penelitian ini memiliki densitas yang lebih rendah. Meski demikian, densitas yang lebih rendah tidak selalu menjadi kelemahan, terutama untuk aplikasi rumah tangga di mana pembakaran cepat lebih diinginkan.

Implikasi Densitas pada Aplikasi Nyata

Densitas tinggi, seperti pada Sampel A (0,6742 g/cm³), memberikan keunggulan untuk aplikasi yang memerlukan pembakaran lambat dan stabil, seperti di industri kecil atau untuk pemanas ruangan. Sebaliknya, densitas rendah, seperti pada Sampel F (0,4294 g/cm³), lebih cocok untuk kebutuhan rumah tangga dengan durasi pembakaran lebih pendek. Namun, densitas rendah juga memiliki kelemahan, seperti kecenderungan untuk rapuh dan menghasilkan abu yang lebih banyak selama pembakaran. Oleh karena itu, untuk aplikasi yang memerlukan keseimbangan antara efisiensi pembakaran dan kekuatan mekanik, Sampel D (0,5051 g/cm³) menawarkan densitas yang ideal.

D. Analisis Nilai Kalor Biobriket

Nilai kalor adalah parameter utama dalam menilai kualitas biobriket, karena nilai ini menunjukkan jumlah energi panas maksimum yang dapat dihasilkan oleh bahan bakar saat pembakaran sempurna. Dalam penelitian ini, nilai kalor biobriket berkisar antara 6.022 kkal/g hingga 9.034 kkal/g. Sampel D (45% ASP + 45% ATK) memiliki nilai kalor tertinggi (9.034 kkal/g), sedangkan Sampel G (90% ASP + 0% ATK) memiliki nilai kalor terendah (6.022 kkal/g) (Gambar 4). Semua sampel memenuhi standar SNI (minimal 5000 kkal/g), menunjukkan bahwa biobriket yang dihasilkan layak digunakan sebagai bahan bakar alternatif.



Gambar 4. Diagram nilai kalor biobriquet ASP dan ATK

Pengaruh Komposisi Sekam Padi dan Tempurung Kelapa

Komposisi bahan baku memainkan peran penting dalam menentukan nilai kalor. Tempurung kelapa memiliki kandungan lignin dan karbon tetap (fixed carbon) yang lebih tinggi dibandingkan sekam padi, sehingga cenderung meningkatkan nilai kalor. Namun, sekam padi yang memiliki kadar air lebih tinggi dan kandungan silika yang signifikan dapat menurunkan efisiensi pembakaran dan nilai kalor.

Penelitian ini menunjukkan bahwa Sampel D (45% ASP + 45% ATK) menghasilkan nilai kalor tertinggi karena proporsi yang seimbang antara sekam padi dan tempurung kelapa. Komposisi ini memberikan kontribusi optimal terhadap pembakaran yang efisien dengan residu abu yang minimal. Sebaliknya, Sampel G (90% ASP + 0% ATK) memiliki nilai kalor terendah karena dominasi sekam padi yang meningkatkan kadar abu dan kadar air, yang mengurangi energi yang dihasilkan selama pembakaran.

Hasil penelitian ini sejalan dengan studi oleh Aljarwi et al. (2020), yang melaporkan bahwa nilai kalor biobriquet berbasis sekam padi berkisar antara 6.000–7.500 kkal/g tergantung pada tekanan kompresi. Nilai kalor tempurung kelapa yang lebih tinggi, sebagaimana dilaporkan oleh Yopianita et al. (2022), dapat mencapai 18.200–19.338 kJ/kg (setara dengan 4.344–4.626 kkal/g), yang membantu meningkatkan nilai kalor keseluruhan saat dicampur dengan sekam padi.

Dibandingkan dengan biobriquet berbasis biomassa lainnya:

- Biobriquet tongkol jagung memiliki nilai kalor sekitar 7.500–8.000 kkal/g (Bediako et al., 2020), sedikit lebih rendah dibandingkan dengan biobriquet campuran sekam padi dan tempurung kelapa.
- Biobriquet serbuk gergaji dilaporkan memiliki nilai kalor hingga 21.714 kJ/kg (Ikelle et al., 2020), jauh lebih tinggi dibandingkan biobriquet dalam penelitian ini. Namun, serbuk gergaji memiliki ketersediaan terbatas dibandingkan sekam padi dan tempurung kelapa di Indonesia.

Faktor yang Memengaruhi Nilai Kalor

Beberapa faktor yang memengaruhi nilai kalor biobriquet dalam penelitian ini meliputi:

1. Komposisi Bahan Baku: Tempurung kelapa meningkatkan nilai kalor karena kandungan karbon tetap yang tinggi, sementara sekam padi cenderung menurunkan nilai kalor akibat kadar abu dan airnya.
2. Proses Pengarangan: Pengarangan sempurna menghasilkan karbonisasi yang baik, meningkatkan kandungan karbon tetap pada bahan baku.
3. Penggunaan Perekat: Perekat tepung tapioka dalam komposisi 10% membantu membentuk struktur yang kompak tanpa mengurangi kandungan energi.

Hubungan Nilai Kalor dan Kadar Air

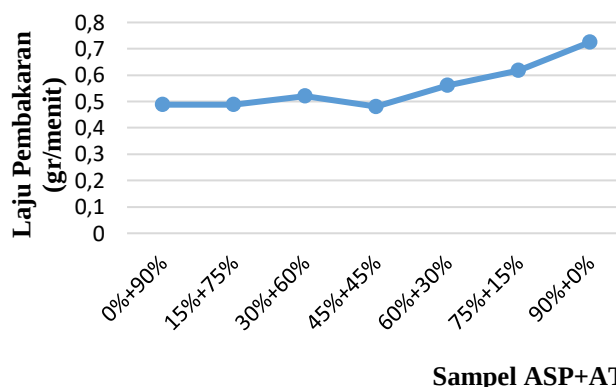
Nilai kalor berbanding terbalik dengan kadar air. Sampel D (45% ASP + 45% ATK), yang memiliki kadar air terendah (4,5345%), menghasilkan nilai kalor tertinggi. Sebaliknya, Sampel G (90% ASP + 0% ATK), dengan kadar air tertinggi (7,1030%), menunjukkan nilai kalor terendah. Hal ini sejalan dengan temuan Ikelle et al. (2020), yang menunjukkan bahwa kadar air tinggi mengurangi energi yang tersedia untuk pembakaran.

Implikasi Nilai Kalor pada Penggunaan Nyata

Nilai kalor tinggi, seperti yang dihasilkan oleh Sampel D (9.034 kkal/g), membuat biobriket ini ideal untuk aplikasi yang membutuhkan panas intensif dalam waktu singkat, seperti memasak atau pemanasan industri kecil. Sebaliknya, nilai kalor yang lebih rendah, seperti pada Sampel G, dapat digunakan untuk pembakaran jangka panjang dengan tingkat panas yang lebih moderat. Dengan demikian, variasi nilai kalor memberikan fleksibilitas dalam penggunaan biobriket berdasarkan kebutuhan energi. Semua sampel memenuhi standar SNI untuk nilai kalor, yaitu minimum 5000 kkal/g. Kombinasi sekam padi dan tempurung kelapa memberikan keunggulan dalam menghasilkan biobriket yang ekonomis dan ramah lingkungan tanpa memerlukan tambahan bahan baku mahal.

E. Analisis Laju Pembakaran Biobriket

Laju pembakaran adalah parameter penting dalam menilai kecepatan biobriket habis terbakar, yang dipengaruhi oleh struktur biomassa, densitas, kadar air, dan komposisi bahan baku. Dalam penelitian ini, laju pembakaran biobriket berkisar antara 0,4882 g/menit hingga 0,7254 g/menit. Sampel G (90% ASP + 0% ATK) memiliki laju pembakaran tertinggi (0,7254 g/menit), sementara Sampel D (45% ASP + 45% ATK) menunjukkan laju pembakaran terendah (0,4882 g/menit) (Gambar 5).



Gambar 5. Diagram laju pembakaran biobriket ASP dan ATK

Pengaruh Komposisi Sekam Padi dan Tempurung Kelapa

Komposisi sekam padi dan tempurung kelapa secara langsung memengaruhi laju pembakaran. Sekam padi, yang memiliki struktur lebih berpori dan kandungan silika tinggi, cenderung mempercepat pembakaran. Di sisi lain, tempurung kelapa, dengan densitas yang lebih tinggi dan kandungan karbon tetap lebih besar, menghasilkan pembakaran yang lebih lambat dan stabil.

Sampel G (90% ASP + 0% ATK) menunjukkan laju pembakaran tertinggi karena dominasi sekam padi, yang memungkinkan aliran udara lebih baik melalui struktur poros. Sebaliknya, Sampel D (45% ASP + 45% ATK), dengan kombinasi seimbang antara sekam padi dan tempurung kelapa, menghasilkan pembakaran yang lebih lambat tetapi lebih terkendali.

Hubungan Laju Pembakaran dengan Parameter Lain

1. Densitas: Laju pembakaran berbanding terbalik dengan densitas biobriket. Sampel A (0% ASP + 90% ATK), yang memiliki densitas tertinggi (0,6742 g/cm³), menunjukkan laju pembakaran lebih rendah dibandingkan Sampel G (90% ASP + 0% ATK), dengan densitas lebih rendah (0,4294 g/cm³). Densitas tinggi menghambat aliran udara, sehingga pembakaran menjadi lebih lambat.
2. Kadar Air: Kadar air yang tinggi, seperti pada Sampel E (60% ASP + 30% ATK), memperlambat laju pembakaran karena energi awal digunakan untuk menguapkan air sebelum proses pembakaran berlangsung. Sebaliknya, kadar air yang lebih rendah, seperti pada Sampel D, mendukung pembakaran yang lebih efisien.
3. Kadar Abu: Kandungan abu yang tinggi, seperti pada Sampel G (11,6518%), cenderung meninggalkan residu yang dapat memengaruhi konsistensi pembakaran. Namun, dalam

komposisi sekam padi dominan, kadar abu tidak terlalu menghambat karena pembakaran berlangsung cepat sebelum residu signifikan terbentuk.

Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya

Hasil penelitian ini konsisten dengan studi oleh Aljarwi et al. (2020), yang melaporkan bahwa laju pembakaran biobriket sekam padi berkisar antara 0,45 g/menit hingga 0,73 g/menit. Dibandingkan dengan biobriket berbasis tempurung kelapa, yang rata-rata memiliki laju pembakaran sekitar 0,234 g/menit (Widjaya et al., 2022), biobriket berbasis sekam padi menunjukkan pembakaran yang lebih cepat. Ini menunjukkan bahwa campuran sekam padi lebih cocok untuk aplikasi yang memerlukan panas tinggi dalam waktu singkat.

Implikasi Laju Pembakaran pada Penggunaan Nyata

1. Pembakaran Cepat: Laju pembakaran tinggi, seperti pada Sampel G, ideal untuk kebutuhan rumah tangga seperti memasak, di mana panas cepat dibutuhkan dalam durasi singkat. Namun, pembakaran yang terlalu cepat dapat menyebabkan penggunaan bahan bakar yang boros.
2. Pembakaran Lambat dan Stabil: Laju pembakaran rendah, seperti pada Sampel D, lebih cocok untuk aplikasi pemanasan jangka panjang, seperti pemanas ruangan atau boiler kecil. Pembakaran yang stabil ini memastikan efisiensi penggunaan bahan bakar dengan residu abu yang minimal.

Faktor yang Memengaruhi Laju Pembakaran

Faktor-faktor yang memengaruhi laju pembakaran dalam penelitian ini meliputi:

1. Komposisi Bahan Baku: Sekam padi meningkatkan laju pembakaran karena strukturnya yang lebih berpori, sementara tempurung kelapa memperlambat pembakaran dengan struktur yang lebih padat.
2. Densitas Biobriket: Biobriket dengan densitas lebih tinggi (Sampel A) terbakar lebih lambat karena hambatan aliran udara selama pembakaran.
3. Penggunaan Perekat: Perekat tepung tapioka membantu mempertahankan struktur biobriket yang stabil, tetapi tidak terlalu memengaruhi laju pembakaran secara signifikan.

Meskipun laju pembakaran tidak termasuk dalam standar SNI untuk biobriket, nilai-nilai yang ditemukan dalam penelitian ini mendukung keberagaman penggunaan biobriket berdasarkan kebutuhan. Kombinasi optimal, seperti pada Sampel D (45% ASP + 45% ATK), menawarkan laju pembakaran yang cukup terkendali untuk aplikasi praktis. Dibandingkan dengan biomassa lain seperti tongkol jagung atau ampas tebu, biobriket berbasis sekam padi memiliki laju pembakaran yang lebih tinggi, menjadikannya bahan bakar pilihan untuk kebutuhan panas cepat. Namun, tempurung kelapa memberikan stabilitas pembakaran yang lebih baik, ideal untuk aplikasi dengan kebutuhan panas lebih lama (Bediako et al., 2020).

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa variasi komposisi sekam padi (ASP) dan tempurung kelapa (ATK) memiliki pengaruh signifikan terhadap karakteristik biobriket, termasuk kadar air, kadar abu, densitas, nilai kalor, dan laju pembakaran. Sampel D (45% ASP + 45% ATK) terbukti menghasilkan kombinasi optimal dengan kadar air rendah (4,5345%), kadar abu moderat (8,3542%), densitas seimbang (0,5051 g/cm³), nilai kalor tertinggi (9.034 kkal/g), dan laju pembakaran yang stabil (0,4882 g/menit). Kombinasi bahan ini memberikan kinerja yang seimbang antara efisiensi energi dan kualitas pembakaran. Sementara itu, Sampel G (90% ASP + 0% ATK) menghasilkan laju pembakaran tertinggi (0,7254 g/menit) namun memiliki kadar abu yang melampaui standar SNI (11,6518%), menjadikannya kurang ideal untuk aplikasi tertentu. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa campuran sekam padi dan tempurung kelapa dapat menghasilkan biobriket yang memenuhi standar SNI untuk kadar air dan nilai kalor, dengan potensi aplikasi fleksibel untuk kebutuhan rumah tangga dan industri kecil.

REKOMENDASI

Berdasarkan temuan ini, beberapa rekomendasi dapat diajukan untuk pengembangan lebih lanjut yakni Optimalisasi Komposisi Bahan berupa Kombinasi 45% ASP + 45% ATK direkomendasikan sebagai campuran optimal untuk menghasilkan biobriket berkualitas

tinggi. Namun, variasi lain dengan tekanan kompresi yang lebih tinggi dapat diuji untuk meningkatkan densitas dan stabilitas. Penggunaan Perekat Alternatif lain yang lebih ramah lingkungan atau lebih ekonomis, seperti molase atau lem organik, dapat membantu mengurangi biaya produksi sekaligus meningkatkan kualitas biobriket. Karena kadar abu sekam padi cenderung tinggi, penelitian tambahan diperlukan untuk mengelola residu abu, seperti penggunaan abu untuk pupuk atau bahan konstruksi. Pengembangan Teknologi Produksi yang lebih canggih seperti pirolisis terkontrol dapat dieksplorasi untuk meningkatkan karbonisasi bahan baku, sehingga meningkatkan efisiensi energi dan menurunkan kadar abu.

UCAPAN TERIMAKASIH

Peneliti mengucapkan terimakasih kepada pihak laboratorium Fisika Undikma serta semua pihak yang telah membantu peneliti hingga artikel ini terselesaikan dengan baik dan benar.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, A., Yub Harun, N., Waqas, S., Arshad, U., & Ghalib, S. A. (2024). Optimization of operational parameters using artificial neural network and support vector machine for bio-oil extracted from rice husk. *ACS Omega*, 9(24), 26540-26548. <https://doi.org/10.1021/acsomega.4c03131>
- Aliah, H., Winarti, I., Iman, R. N., Setiawan, A., Safarina, R., & Sawitri, A. (2023). Influence of sieve size on calorific value and proximate properties of bio-briquette composites. *Journal of Ecological Engineering*, 24(7), 25-34. <https://doi.org/10.12911/22998993/163309>
- Aljarwi, M. A., Pangga, D., & Ahzan, S. (2020). Uji laju pembakaran dan nilai kalor briket wafer sekam padi dengan variasi tekanan. *ORBITA: Jurnal Kajian, Inovasi Dan Aplikasi Pendidikan Fisika*, 6(2), 200. <https://doi.org/10.31764/orbita.v6i2.2645>
- Amin, J. M., Yuanda, R., & Hidayat, S. (2023). Pembuatan Briket Sekam Padi (*Oryza Sativa* L.) sebagai Bahan Bakar Alternatif Pengganti Kayu Bakar. *Prosiding Semnas First*, 1(2), 53–64.
- Anggoro, D. D., Wibawa, M. H. D., & Fathoni, M. Z. (2017). Pembuatan Briket Arang dari Campuran Tempurung Kelapa dan Serbuk Gergaji Kayu Sengon. *TEKNIK*, 38(2), 76–80. <https://doi.org/10.14710/teknik.v38i2.13985>
- Anizar, H., Sribudiani, E., & Somadona, S. (2020). Pengaruh Bahan Perekat Tapioka dan Sagu terhadap Kualitas Briket Arang Kulit Buah Nipah. *Perennial*, 16(1), 11–17.
- Arundina, I., Diyatri, I., Juliastuti, W. S., Budhy, T. I., Surboyo, M. D. C., Iskandar, B., ... & Saputra, G. (2022). Nanoparticles of liquid smoke rice husk inhibit porphyromonas gingivalis. *European Journal of Dentistry*, 17(02), 337-341. <https://doi.org/10.1055/s-0042-1749154>
- Awulu, J. O., Omale, P. A., & Ameh, J. (2018). Comparative analysis of calorific values of selected agricultural wastes. *Nigerian Journal of Technology*, 37(4), 1141. <https://doi.org/10.4314/njt.v37i4.38>
- Bappah, M., Bradna, J., Malat'ák, J., & Vaculik, P. (2022). Viability of some african agricultural by-products as a feedstock for solid biofuel production. *Research in Agricultural Engineering*, 68(4), 210-215. <https://doi.org/10.17221/74/2021-rae>
- Bediako, M., Adjaottor, A. A., Gawu, S. K. Y., & Amankwah, E. O. (2020). Compressive strength and durability properties of pozzolan obtained from co-fired clay and rice husk. *Cogent Engineering*, 7(1), 1811453. <https://doi.org/10.1080/23311916.2020.1811453>
- Chamoli, P., Jhildiyal, S., Agrawal, P., Kumar, N., & Singh, P. (2024). Recent advances in the processing of napier grass (*pennisetum purpureum schumach*) as a potential bioenergy crop for bioethanol production. *Journal of Applied Biology & Biotechnology*. <https://doi.org/10.7324/jabb.2024.154513>
- Chun, J. and Lee, J. H. (2020). Recent progress on the development of engineered silica particles derived from rice husk. *Sustainability*, 12(24), 10683. <https://doi.org/10.3390/su122410683>

- Colombo, R., Moretto, G., Barberis, M., Frosi, I., & Papetti, A. (2023). Rice byproduct compounds: from green extraction to antioxidant properties. *Antioxidants*, 13(1), 35. <https://doi.org/10.3390/antiox13010035>
- Fathurahman, R. and Surjosatyo, A. (2022). Utilization of rice husks as a fuel for gasification – a review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1034(1), 012065. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1034/1/012065>
- Firdaus, R., Harun, S. N., Hanafiah, M. M., Mat Deli, M., & Adhikary, S. K. (2024). Life cycle assessment of rice straw for energy valorization: a comprehensive review of methodological trends and future outlooks. *WIREs Energy and Environment*, 13(3). <https://doi.org/10.1002/wene.520>
- Ikelle, I. I., Sunday, N. J., Nworie, F. S., John, J. G., Okechukwu, O. J., & Elom, N. (2020). Thermal analyses of briquette fuels produced from coal dust and groundnut husk. *Acta Chemica Malaysia*, 4(1), 24-27. <https://doi.org/10.2478/acmy-2020-0004>
- Illankoon, W. A. M. A. N., Milanese, C., Collivignarelli, M. C., & Sorlini, S. (2023). Value chain analysis of rice industry by products in a circular economy context: a review. *Waste*, 1(2), 333-369. <https://doi.org/10.3390/waste1020022>
- Jannah, B. L., Pangga, D., & Ahzan, S. (2022). Pengaruh Jenis dan Persentase Bahan Perekat Biobriket Berbahan Dasar Kulit Durian terhadap Nilai Kalor Dan Laju Pembakaran. *Lensa: Jurnal Kependidikan Fisika*, 10(1), 16–23.
- Jurnal, R. T. (2017). Potensi Pemanfaatan Biomassa Sekam Padi untuk Pembangkit Listrik Melalui Teknologi Gasifikasi: Isworo Pujotomo. *Energi & Kelistrikan*, 9(2), 126–135.
- Kalsum, U. (2016). Pembuatan Briket Arang dari Campuran Limbah Tongkol Jagung, Kulit Durian dan Serbuk Gergaji Menggunakan Tepung Tapioka. *Distilasi*, 1, 42–50.
- Krisnaningsih, E., Arkeman, Y., Hambali, E., & Marimin, M. (2022). Decision model for determining the feasibility of rice-based bioenergy supply chain development area with fuzzy logic-ahp approach. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1034(1), 012007. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1034/1/012007>
- Lee, Y. and Tsai, W. (2022). Overview of biomass-to-energy supply and promotion policy in taiwan. *Energies*, 15(18), 6576. <https://doi.org/10.3390/en15186576>
- Li, Y., Liu, W., Zhang, X., Wang, S., Yadegari, R., & Wang, J. (2023). Editorial: advances in crop biomass production based on multi-omics approach. *Frontiers in Plant Science*, 14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1155442>
- Maharani, F., Muhammad, M., Jalaluddin, J., Kurniawan, E., & Ginting, Z. (2022). Pembuatan Briket dari Arang Serbuk Gergaji Kayu dengan Perekat Tepung Singkong sebagai Bahan Bakar Alternatif. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 11(2), 207–216.
- Makul, N., Fediuk, R., Amran, M., Al-Akwaa, M. S., Prałat, K., Nemova, D., ... & Sulman, M. G. (2021). Utilization of biomass to ash: an overview of the potential resources for alternative energy. *Materials*, 14(21), 6482. <https://doi.org/10.3390/ma14216482>
- Maraveas, C. (2020). Production of sustainable construction materials using agro-wastes. *Materials*, 13(2), 262. <https://doi.org/10.3390/ma13020262>
- Marín-Calvo, N., González-Serrud, S., & James-Rivas, A. (2023). Thermal insulation material produced from recycled materials for building applications: cellulose and rice husk-based material. *Frontiers in Built Environment*, 9. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2023.1271317>
- Masthura, M. (2019). Analisis Fisis dan Laju Pembakaran Briket Bioarang dari Bahan Pelepah Pisang. *Elkawanie: Journal of Islamic Science and Technology*, 5(1), 58–66.
- Mili, M., Jaiswal, A., Hada, V., Sagiri, S. S., Pal, K., Chowdhary, R., ... & Verma, S. (2021). Development of graphene quantum dots by valorizing the bioresources – a critical review. *ChemistrySelect*, 6(37), 9990-10001. <https://doi.org/10.1002/slct.202102353>
- Mohamad, H. (2021). Bioactivity and biocompatibility properties of sustainable wollastonite bioceramics from rice husk ash/rice straw ash: a review. *Materials*, 14(18), 5193. <https://doi.org/10.3390/ma14185193>
- Nnadiukwu, C. U., Onyeike, E. N., Ikewuchi, C. C., & Patrick-Iwuanyanwu, K. C. (2023). Ameliorative effect of rice husk methanol extract on liver and kidney toxicities induced by subchronic codeine administration. *International Journal of Food Science*, 2023, 1-8. <https://doi.org/10.1155/2023/3940759>

- Othman, F. E. C., Harun, N. Y., Bilad, M. R., Jaafar, J., Aziz, F., & Salleh, W. N. W. (2020). Novel activated carbon nanofibers composited with cost-effective graphene-based materials for enhanced adsorption performance toward methane. *Polymers*, 12(9), 2064. <https://doi.org/10.3390/polym12092064>
- Peres, C. B., Resende, P., Nunes, L. J. R., & Morais, L. C. d. (2022). Circular economy: a comprehensive review of eco-friendly wollastonite applications. *Sustainability*, 14(5), 3070. <https://doi.org/10.3390/su14053070>
- Pramana, Y. B., A, D. A., & AR, N. (2022). Improving the heat value of biobriquettes made from rice husk and cabbage with the addition of palm oil. *Tibuana*, 5(2), 120-126. <https://doi.org/10.36456/tibuana.5.2.5896.120-126>
- Pratama, A. A., Shadewa, D., & Muhyin, I. (2018). Pengaruh Komposisi Bahan Dasar dan Variasi Jenis Perekat terhadap Nilai Kalor, Kadar Air, Kadar Abu Pada Briket campuran Sekam Padi dan Tempurung Kelapa. *Publikasi Online Mahasiswa Teknik Mesin*, 1(2), 1–10.
- Punvittayagul, C., Chariyakornkul, A., Sankam, P., & Wongpoomchai, R. (2021). Inhibitory effect of thai purple rice husk extract on chemically induced carcinogenesis in rats. *Molecules*, 26(2), 360. <https://doi.org/10.3390/molecules26020360>
- Putra, N., Zhou, J., & Zadpoor, A. A. (2023). Sustainable sources of raw materials for additive manufacturing of bone-substituting biomaterials. *Advanced Healthcare Materials*, 13(1). <https://doi.org/10.1002/adhm.202301837>
- Qistina, I., & Dede Sukandar, T. (2016). Kajian Kualitas Briket Biomassa dari Sekam Padi dan Tempurung Kelapa. <https://repository.uinjkt.ac.id/dspace/handle/123456789/67723>
- Rhofita, E. I., Rachmat, R., Mayer, M., & Montastruc, L. (2022). An energy potential estimation of rice residue in indonesia: a case study in east java. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1024(1), 012029. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1024/1/012029>
- Rusmayadi, G., Iffah, N., Ninasari, A., Laksmono, R., Rais, R., & Indriyani, I. (2023). Community empowerment through utilization of rice husk waste in cirebon regency. *Amalee: Indonesian Journal of Community Research and Engagement*, 4(2), 571-584. <https://doi.org/10.37680/amalee.v4i2.3012>
- Sanoja-López, K. A., Llor-Molina, N. S., & Luque, R. (2023). Rice waste feedstocks: a review of alternatives for their conversion into high-value added products. *BioResources*, 19(1). <https://doi.org/10.15376/biores.19.1.sanoja-lopez>
- Scuto, F. R., Ciarlantini, C., Chiappini, V., Pietrelli, L., Piozzi, A., & Girelli, A. M. (2023). Design of a 3d amino-functionalized rice husk ash nano-silica/chitosan/alginate composite as support for laccase immobilization. *Polymers*, 15(14), 3127. <https://doi.org/10.3390/polym15143127>
- Seikh, Z., Sekh, M., Kunar, S., Kibria, G., Haque, R., & Haidar, S. (2022). Rice husk ash reinforced aluminium metal matrix composites: a review. *Materials Science Forum*, 1070, 55-70. <https://doi.org/10.4028/p-u8s016>
- Sinha, S., Pandey, A., B, S. N., & Prasad, B. D. (2023). Preliminary study of agricultural waste as biochar incorporated into cementitious materials. *Journal of Architectural Environment & Structural Engineering Research*, 6(2), 59-79. <https://doi.org/10.30564/jaeser.v6i2.5695>
- Siu, K., Pingak, R. K., & Johannes, A. Z. (2021). Kajian Sifat Fisis dan Kimia Bio-Briket Campuran Tempurung Kelapa dan Sekam Padi. *Magnetic: Research Journal of Physics and It's Application*, 1(1), 18–25.
- Sofyana, S., Iqfal, M., & Zuhra, M. R. (2021). Pembuatan Biobriket dari Limbah Sekam Padi dan Tempurung Kelapa Dengan Perekat Tepung Tapioka. *Jurnal Inovasi Ramah Lingkungan*, 2(1), 4.
- Sohal, N., Singla, S. K., Malode, S. J., Basu, S., Maity, B., & Shetti, N. P. (2023). Bioresource-based graphene quantum dots and their applications: a review. *ACS Applied Nano Materials*, 6(13), 10925-10943. <https://doi.org/10.1021/acsanm.3c02185>

- Stiawan, R., Ahzan, S., & Pangga, D. (2023). Pengaruh Variasi Bahan Perekat Biobriket Berbahan Dasar Kulit Kacang Tanah terhadap Nilai Kalor dan Laju Pembakaran. *Jurnal Ilmiah IKIP Mataram*, 9(1), 20–26.
- Sukarti, S., Pangga, D., & Ahzan, S. (2023). Pengaruh Persentasi Perekat Briket Berbahan Dasar Tempurung Kelapa terhadap Nilai Kalor dan Laju Pembakaran. *Jurnal Ilmiah IKIP Mataram*, 10(1), 25–31.
- Taniş, N. A., Okur, O., Duran, O., Yilmaz, E., Türkmen, M., Ariff, A. H. M., ... & Calin, R. (2021). An investigation of production and properties of rha reinforced hybrid composites by vacuum infiltration method. *Uluslararası Muhendislik Arastirma Ve Gelistirme Dergisi*, 13(2), 704-710. <https://doi.org/10.29137/umagd.913816>
- Tsai, C. and Chang, Y. (2020). Effects of rice husk biochar on carbon release and nutrient availability in three cultivation age of greenhouse soils. *Agronomy*, 10(7), 990. <https://doi.org/10.3390/agronomy10070990>
- Ubi, P. A., Adah, P. U., Ademoh, N. A., Salawu, A. A., Hassan, A. B., Dashe, J. D., ... & Oyeyemi, S. W. (2022). Rice husk ash reinforced natural rubber composites: effect of benzene diazonium salt treatment.. *Nigerian Journal of Technology*, 41(5), 879-886. <https://doi.org/10.4314/njt.v41i5.8>
- Widjaya, D., Sinatrya, A. N., Kusumandaru, W., Jupriyanto, A., & Nijkamp, R. T. (2022). Utilization of several agricultural wastes into briquette as renewable energy source. *PLANTA TROPIKA: Jurnal Agrosains (Journal of Agro Science)*, 10(2), 169-176. <https://doi.org/10.18196/pt.v10i2.13773>
- Yodda, S., Laohasiriwong, S., & Rambo, A. T. (2021). Use of organic materials to maintain soil quality by thai-lao rice farmers in northeast thailand. *Forest and Society*, 559-574. <https://doi.org/10.24259/fs.v5i2.14044>
- Yopianita, A., Syarif, A., Yerizam, u., & Rusdianasari, R. (2022). Biocoal characterization as an environmentally friendly alternative energy innovation composite variations of gasified char with coconut shell charcoal. *Indonesian Journal of Fundamental and Applied Chemistry*, 7(2), 68-79. <https://doi.org/10.24845/ijfac.v7.i2.68>
- Zareihassangheshlaghi, A., Dizaji, H. B., Zeng, T., Huth, P., Ruf, T., Denecke, R., & Enke, D. (2020). Behavior of metal impurities on surface and bulk of biogenic silica from rice husk combustion and the impact on ash-melting tendency. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 8(28), 10369-10379. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.0c01484>
- Zhang, Y., Liu, X., Zhao, R., Zhang, J., Zhang, L., Zhang, W., & Li, H. (2024). The green preparation of mesoporous wo3/sio2 and its application in oxidative desulfurization. *Catalysts*, 14(2), 103. <https://doi.org/10.3390/catal14020103>