

Rekayasa Formulasi Briket Tempurung Kelapa melalui Kombinasi Biomassa dan Variasi Perekat

Engineering the Formulation of Coconut Shell Briquettes via Biomass Blending and Binder Variation

Efri Mardawati^{*)}, Abdurrahman Thariq Putra Pamungkas, Ridho Darmawan, Aisyah Hanifah, dan Desy Nurliasari

Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Industri Pertanian, Universitas Padjadjaran
Jl. Ir. Soekarno km. 21, Jatinangor, Sumedang, Jawa Barat 45363, Indonesia

^{*)} Alamat E-mail Korespondensi: efri.mardawati@unpad.ac.id

Informasi Artikel

Diterima: 28-01-2025

Disetujui: 17-12-2025

Terbit : 02-01-2026

Kata Kunci:

Briket biomassa; Jenis perekat; Kombinasi biomassa; Tempurung kelapa.

Keywords:

Biomass briquettes; Binder variety; Biomass blending; Coconut shell.

Abstrak. Permintaan energi terbarukan terus meningkat seiring kebutuhan akan sumber energi yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan. Briket biomassa berbasis tempurung kelapa menjadi salah satu alternatif potensial karena memiliki nilai kalor tinggi dan ketersediaan bahan baku yang melimpah. Penelitian ini bertujuan mengeksplorasi pengaruh kombinasi biomassa arang tempurung kelapa dengan serasah daun serta perbedaan jenis perekat terhadap kinerja briket. Briket diproduksi melalui karbonisasi pada 400°C, penghalusan 60 mesh, pencampuran variasi rasio arang (0:10; 1:9; 2:8) dan lima jenis perekat, kemudian diuji mengacu SNI 01-6235-2000. Hasil menunjukkan bahwa perekat berbasis minyak goreng menghasilkan kadar air terendah ($0,60 \pm 0,09\%$), karbon terikat tertinggi ($75,78 \pm 1,32\%$), dan nilai kalor di atas 7000 kal/g. Penambahan arang serasah daun justru meningkatkan zat terbang serta menurunkan karbon terikat dan nilai kalor. Dengan demikian, pemilihan perekat berperan krusial dalam meningkatkan mutu dan potensi energi briket, sedangkan kombinasi dengan serasah daun kurang direkomendasikan.

Abstract. The demand for renewable energy continues to increase due to the need for more sustainable and environmentally friendly energy sources. Coconut shell biomass briquettes represent a promising alternative because of their high calorific value and abundant availability. This study investigated the effect of blending coconut shell char with leaf litter and different binder types on briquette performance. Briquettes were produced through carbonization at 400°C, grinding to 60 mesh, blending at ratios of 0:10, 1:9, and 2:8 (w/w) with five binders, and evaluated according to SNI 01-6235-2000. Results showed that cooking oil binder produced the lowest moisture content ($0.60 \pm 0.09\%$), the highest fixed carbon ($75.78 \pm 1.32\%$), and a calorific value exceeding 7000 cal/g. In contrast, leaf litter addition increased volatile matter and reduced fixed carbon and calorific value. Therefore, binder selection plays a crucial role in enhancing briquette quality, while leaf litter blending is not recommended.

PENDAHULUAN

Permintaan energi global terus meningkat seiring pertumbuhan populasi dan percepatan industrialisasi, sementara ketergantungan terhadap bahan bakar fosil telah menimbulkan berbagai dampak lingkungan seperti emisi gas rumah kaca dan degradasi ekosistem. Kondisi ini mendorong pengembangan sumber energi terbarukan yang lebih berkelanjutan, termasuk energi surya, angin, air, dan biomassa [1]. Di antara berbagai opsi tersebut, biomassa memiliki posisi strategis karena

sifatnya yang terbarukan dan ketersediaannya yang melimpah dalam bentuk residu organik. Salah satu bentuk pemanfaatan biomassa yang berkembang pesat adalah produksi briket biomassa atau bio-briket sebagai bahan bakar padat alternatif yang lebih ramah lingkungan dan ekonomis dibandingkan bahan bakar fosil [2]. Bio-briket dinilai mampu mengurangi emisi sekaligus meningkatkan pemanfaatan limbah pertanian dan perkebunan secara produktif.

Perkembangan teknologi briket biomassa menunjukkan kemajuan signifikan melalui diversifikasi bahan baku. Berbagai jenis biomassa seperti sekam padi, ampas tebu, residu kayu, dan tempurung kelapa telah dimanfaatkan sebagai bahan utama produksi briket [3]. Di antara berbagai sumber tersebut, tempurung kelapa menonjol karena memiliki densitas tinggi, kandungan karbon terikat yang baik, serta nilai kalor yang relatif tinggi [4]. Pemanfaatan tempurung kelapa sebagai briket juga sejalan dengan prinsip biorefineri dan ekonomi sirkular, karena mampu mengonversi limbah organik menjadi energi alternatif bernilai tambah sekaligus mengurangi volume limbah dan emisi karbon. Potensi ini menjadikan briket tempurung kelapa sebagai salah satu kandidat utama dalam pengembangan energi berbasis biomassa, khususnya di kawasan Asia Tenggara yang kaya sumber daya hayati [5].

Tren penelitian terkini menunjukkan bahwa pengembangan briket tempurung kelapa tidak lagi terbatas pada karakterisasi dasar, tetapi telah mencakup eksplorasi formulasi campuran biomassa dan inovasi jenis perekat alami yang lebih berkelanjutan [6,7]. Sejumlah studi telah mengevaluasi penggunaan limbah pertanian seperti tandan kosong kelapa sawit, batang jagung, dan jerami padi sebagai bahan tambahan dalam formulasi briket tempurung kelapa. Hasil studi bibliometrik telah menegaskan bahwa kombinasi biomassa arang dan variasi jenis perekat memiliki pengaruh signifikan terhadap kinerja briket, namun masih memerlukan kajian komprehensif untuk memperoleh formulasi optimal [3]. Hal ini membuka peluang penelitian lanjutan guna meningkatkan kualitas pembakaran, nilai kalor, serta stabilitas mekanik briket.

Di sisi lain, pati masih menjadi perekat yang paling umum digunakan dalam produksi briket karena sifat adhesif dan ketersediaannya yang luas. Namun, penggunaan pati menimbulkan isu ketahanan pangan karena merupakan bahan pangan pokok yang penting bagi masyarakat [8]. Diversifikasi pati untuk keperluan industri berpotensi memperburuk kerawanan pangan, terutama di wilayah dengan tingkat ketahanan pangan yang rendah. Oleh karena itu, diperlukan inovasi perekat alternatif yang tidak bersaing dengan kebutuhan pangan. Penelitian sebelumnya berhasil memanfaatkan holoselulosa tandan kosong kelapa sawit dapat mensubstitusi perekat pati dan menghasilkan kinerja briket yang mendekati standar SNI 01-6235-2000 [9], sehingga memberikan arah baru dalam pengembangan perekat berbasis limbah biomassa [10].

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi pengaruh

kombinasi biomassa terhadap kinerja briket tempurung kelapa, khususnya dengan penambahan arang serasah daun, serta menganalisis aplikasi perbedaan jenis perekat terhadap karakteristik proksimat dan performa pembakaran briket. Pendekatan ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan formulasi briket yang lebih efisien, berkelanjutan, dan tidak menimbulkan konflik dengan ketahanan pangan.

METODE

Bahan

Bahan utama penelitian ini adalah tempurung kelapa didapatkan dari pasar tradisional di daerah Jatinangor, Kabupaten Sumedang dan serasah daun didapatkan dari lingkungan kampus Universitas Padjadjaran. Adapun bahan-bahan penunjang lainnya terdiri dari tapioka, maizena, selulosa karboksimetil (CMC), minyak goreng, dan gliserol merupakan persediaan di Laboratorium Kimia dan Teknologi Proses Agroindustri, Fakultas Teknologi Industri Pertanian, Universitas Padjadjaran.

Karbonisasi Biomassa

Biomassa tempurung kelapa dan serasah daun dibersihkan dari kotoran dan dipotong menjadi lebih kecil untuk memudahkan proses karbonisasi. Selanjutnya, bahan-bahan tersebut dikeringkan di oven dengan suhu 105°C dalam waktu 2 jam [11]. Biomassa kering kemudian dimasukkan secara terpisah masing-masing ke dalam mesin karbonisasi pada suhu 400° C dan dibiarkan selama 4 jam hingga berubah menjadi arang untuk kemudian masuk ke tahapan pengecilan ukuran [12]. Arang yang dihasilkan dikecilkan ukurannya dengan mesin *disk mill* dan diayak pada 60 mesh hingga didapatkan serbuk arang yang halus dan seragam.

Pencetakan Briket Biomassa

Briket biomassa yang diproduksi dalam penelitian ini memvariasikan penambahan arang serasah daun dan perbedaan penggunaan perekat. Rasio arang serasah daun terhadap tempurung kelapa yang dievaluasi terdiri dari 0:10, 1:9, dan 2:8 (b/b), sedangkan beberapa jenis bahan perekat yang dievaluasi meliputi tapioka, maizena, CMC, minyak goreng, dan gliserol yang mewakili perekat briket berbasis karbohidrat dan oleokimia. Briket dibuat dengan mencampurkan adonan arang dengan 20% perekat (b/v) yang kemudian ditambahkan dengan air sebanyak 100 mL untuk homogenisasi adonan arang briket dengan perekat [13]. Campuran yang telah disiapkan kemudian dimasukkan ke dalam alat cetak berbentuk silindris, dikeringkan pada suhu 90°C selama 1–2 jam, dan kemudian disimpan dalam wadah kedap udara sebelum analisis lebih

lanjut. Adapun pengujian briket biomassa yang dihasilkan mengikuti standar acuan SNI 01-6235-2000 tentang Briket Arang Kayu [9].

Analisis Data

Pengukuran setiap parameter uji dilakukan dalam tiga kali pengulangan dan data yang terkumpul dianalisis menggunakan pendekatan statistika uji beda (*t-test*), analisis keragaman (ANOVA), dan uji lanjut Tukey pada taraf kepercayaan 5% menggunakan bantuan perangkat lunak IBM SPSS Statistics 26.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Proksimat Arang dan Briket Berperekat Pati

Pemanfaatan arang tempurung kelapa sebagai bahan baku briket menunjukkan peningkatan karakteristik setelah direkatkan oleh pati. Terjadi peningkatan kadar air yang signifikan dari $5,47 \pm 0,23\%$ pada arang menjadi $6,60 \pm 0,09\%$ dan $10,34 \pm 0,98\%$ untuk masing-masing briket yang direkatkan oleh tapioka dan maizena. Fenomena ini terjadi karena sifat dari kedua pati yang higroskopis

[14]. Selain itu, terjadi penurunan kadar abu dari arang yang dikonversi menjadi briket seperti yang tersaji pada Tabel 1. Hal tersebut disebabkan oleh sifat mudah terbakar pati yang tinggi dan mengikat partikel-pratikel arang sehingga mengurangi kadar abu keseluruhan dari biobriket arang tempurung kelapa [15].

Kadar zat terbang dan karbon terikat menunjukkan adanya perbedaan signifikan pada berbagai perlakuan. Kadar zat terbang menurun hingga 29% dan menunjukkan potensi peningkatan karakteristik dari penyalaan briket [16]. Adapun karbon terikat yang terkandung pada setiap perlakuan briket mengalami peningkatan signifikan. Fenomena peningkatan karbon terikat ini mengindikasikan potensi energi yang semakin meningkat ketika arang dikonversi menjadi biobriket yang kemudian dibuktikan melalui nilai kalor dari $5529,55 \pm 19,16$ kal/g pada arang meningkat hingga 6000 kal/g setelah direkatkan menjadi briket [17]. Berdasarkan temuan tersebut, penggunaan tapioka sebagai perekat lebih direkomendasikan karena memiliki karakteristik proksimat biobriket terbaik daripada penggunaan maizena.

Tabel 1. Karakteristik arang tempurung kelapa dan perubahannya setelah menjadi briket biomassa.

Sampel	Kadar Air (%)	Kadar Abu (%)	Zat Terbang (%)	Karbon Terikat (%)	Nilai Kalor (kal/g)
Bahan Arang TK	$5,47 \pm 0,23$ a	$10,80 \pm 0,06$ b	$38,00 \pm 0,08$ b	$45,73 \pm 0,27$ c	$5529,55 \pm 19,16$ b
Briket (Tapioka)	$6,60 \pm 0,09$ b	$6,24 \pm 0,11$ a	$29,46 \pm 0,86$ a	$57,70 \pm 0,76$ a	$6161,10 \pm 27,94$ a
Briket (Maizena)	$10,34 \pm 0,98$ c	$6,38 \pm 0,23$ a	$29,15 \pm 0,21$ a	$54,13 \pm 1,39$ b	$5846,78 \pm 108,71$ b

Keterangan: simbol huruf pada setiap kolom parameter menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan berdasarkan hasil uji *t* pada taraf kepercayaan 5%.

Penambahan Arang Serasah Daun pada Briket Berperekat Tapioka

Investigasi dalam pengembangan biobriket berbasis arang tempurung kelapa kemudian dilanjutkan dengan penambahan arang serasah daun sebagai bahan alternatif kombinasi. Berdasarkan Tabel 2, penambahan arang serasah daun tidak meningkatkan karakteristik biobriket dan terjadi penurunan kualitas secara signifikan. Meskipun kadar air biobriket dengan penambahan 20% arang serasah daun lebih rendah daripada briket tanpa

penambah arang serasah daun, namun kadar airnya mengalami peningkatan yang sangat signifikan ketika penambahan hanya 10%. Hal ini menjadi sorotan utama dalam penelitian karena terjadi peningkatan dan kemudian penurunan kadar air yang dimungkinkan karena sifat higroskopis dari daun kering [18]. Sifat tersebut diketahui sangat berdampak pada penyimpanan biobriket [19]. Adapun kadar abu memiliki nilai yang stabil, sehingga penambahan arang serasah daun diperkirakan tidak terlalu memberikan dampak pada karakteristik ini.

Tabel 2. Pengaruh penambahan arang serasah daun terhadap briket berbasis tempurung kelapa.

Sampel	Kadar Air (%)	Kadar Abu (%)	Zat Terbang (%)	Karbon Terikat (%)	Nilai Kalor (kal/g)
Tanpa Tambahan	$6,60 \pm 0,09$ b	$6,24 \pm 0,11$ b	$29,46 \pm 0,86$ a	$57,70 \pm 0,76$ a	$6161,10 \pm 27,94$ a
Arang Daun 10%	$17,34 \pm 0,10$ c	$4,04 \pm 0,08$ a	$52,92 \pm 0,29$ c	$25,70 \pm 0,25$ c	$4500,15 \pm 8,21$ c
Arang Daun 20%	$5,80 \pm 0,08$ a	$6,54 \pm 0,09$ c	$49,60 \pm 0,11$ b	$38,06 \pm 0,12$ b	$5394,58 \pm 11,27$ b

Keterangan: simbol huruf pada setiap kolom parameter menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan berdasarkan hasil uji Tukey pada taraf kepercayaan 5%.

Temuan lainnya terkait dengan potensi pembakaran yang rendah akibat dari penambahan arang serasah daun pada biobriket tempurung kelapa. Kadar zat terbang briket dengan penambahan arang serasah daun mengalami peningkatan yang sangat signifikan sehingga berdampak pada daya pembakaran briket [20]. Selain itu, dampak dari zat terbang yang tinggi menyebabkan kadar karbon terikat briket dengan penambahan arang serasah daun semakin menurun. Penurunan kadar karbon terikat terjadi hingga lebih dari setengah nilai karbon terikat yang dimiliki oleh briket tanpa penambahan arang serasah daun. Rendahnya kadar karbon terikat semakin menegaskan bahwa penambahan arang serasah tidak direkomendasikan karena menurunkan potensi energi dan daya bakarnya yang diindikasikan dengan nilai kalor briket [17]. Fenomena ini dapat terjadi karena sifat dari arang serasah daun yang ditambahkan atau faktor lainnya seperti proses karbonisasi arang yang kurang optimal [21,22].

Perbedaan Perekat pada Kinerja Briket Tempurung Kelapa

Tabel 3 menyajikan hasil perbandingan perbedaan perekat terhadap karakteristik briket dari arang tempurung kelapa. Penggunaan perekat berbasis oleo menunjukkan perbedaan yang sangat signifikan karena penggunaan minyak goreng sebagai perekat memberikan kadar air terendah yaitu $0,60 \pm 0,09\%$ sedangkan gliserol sebesar $18,50 \pm 0,28\%$. Hal ini disebabkan karena minyak goreng bersifat hidrofobik, sedangkan jenis perekat lainnya yang digunakan memiliki sifat hidrofilik, termasuk gliserol meskipun perekat ini berbasis oleo [23]. Adapun perekat berbasis karbohidrat seperti tapioka dan CMC mampu mempertahankan kadar air briket tetap sesuai standar. Namun, penggunaan minyak goreng sebagai perekat tetap memiliki kadar air terendah berdasarkan temuan dari penelitian ini.

Tabel 3. Pengaruh perbedaan perekat dalam pengembangan briket tempurung kelapa.

Sampel	Kadar Air (%)	Kadar Abu (%)	Zat Terbang (%)	Karbon Terikat (%)	Nilai Kalor (kal/g)
Tapioka	$6,60 \pm 0,09$ c	$6,24 \pm 0,11$ b	$29,46 \pm 0,86$ b	$57,70 \pm 0,76$ b	$6161,10 \pm 27,94$ b
CMC	$3,94 \pm 0,06$ b	$6,95 \pm 0,17$ c	$31,25 \pm 0,33$ b	$57,87 \pm 0,44$ b	$6253,97 \pm 23,01$ b
Minyak Goreng	$0,60 \pm 0,09$ a	$5,59 \pm 0,31$ a	$18,04 \pm 1,17$ a	$75,78 \pm 1,32$ a	$7180,06 \pm 60,70$ a
Gliserol	$18,50 \pm 0,28$ d	$5,78 \pm 0,17$ ab	$18,53 \pm 0,27$ a	$57,19 \pm 0,45$ b	$5635,45 \pm 29,06$ c

Keterangan: simbol huruf pada setiap kolom parameter menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan berdasarkan hasil uji Tukey pada taraf kepercayaan 5%.

Karakteristik selain kadar air yang mempengaruhi kualitas biobriket meliputi kadar abu, zat terbang, dan karbon terikat. Biobriket dengan perekat minyak goreng tetap memiliki karakteristik terbaik karena kadar abu dan zat terbang paling rendah serta kadar karbon terikatnya tertinggi mencapai $75,78 \pm 1,32\%$ dan nilai kalor yang tinggi di atas 7000 kal/g. Hal tersebut menunjukkan bahwa penggunaan minyak goreng sebagai perekat briket sangat direkomendasikan karena mampu memberikan karakteristik yang melebihi standar nasional biobriket. Meskipun demikian, dalam rangka menanggapi isu ketahanan pangan mendorong hasil investigasi dalam penelitian ini untuk berinovasi dan menyubstitusi minyak goreng sebagai perekat biobriket tempurung kelapa [24]. Adapun jenis perekat berbasis oleo yang memiliki potensi dan karakteristik serupa dengan minyak goreng adalah minyak bekas atau minyak jelantah [25]. Penggunaan minyak jelantah ini dapat menjadi alternatif dari minyak goreng dan diprediksi dapat memberikan karakteristik yang lebih baik serta mendukung praktik dari ekonomi sirkular dan konsep tujuan keberlanjutan.

KESIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil mengeksplorasi kombinasi biomassa serta pengaruh perbedaan perekat terhadap kinerja briket arang tempurung kelapa. Hasil menunjukkan bahwa penggunaan perekat pati mampu meningkatkan karbon terikat dan nilai kalor dibandingkan arang tanpa perekat, meskipun kadar air meningkat akibat sifat higroskopisnya. Di antara perekat berbasis pati, tapioka menghasilkan karakteristik proksimat terbaik. Penambahan arang serasah daun sebagai biomassa kombinasi tidak direkomendasikan karena meningkatkan kadar zat terbang dan menurunkan karbon terikat serta nilai kalor secara signifikan. Sementara itu, perekat berbasis minyak, khususnya minyak goreng, menghasilkan kinerja briket terbaik dengan kadar air dan abu rendah, karbon terikat tinggi, serta nilai kalor di atas 7000 kal/g. Secara keseluruhan, jenis perekat lebih menentukan kualitas briket dibandingkan kombinasi biomassa tambahan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Scheffran, M. Felkers, and R. Froese, "Economic Growth and the Global Energy Demand," in *Green Energy to Sustainability: Strategies for Global Industries*, A. A. Vertès, N. Qureshi, H. P. Blaschek, and H. Yukawa, Eds., John Wiley and Sons Ltd, 2020, ch. 1, pp. 1–44. doi: 10.1002/9781119152057.ch1.
- [2] A. U. Khan, Q. M. U. Jan, M. Abas, K. Muhammad, Q. M. Ali, and D. Zimon, "Utilization of biowaste for sustainable production of coal briquettes," *Energies*, vol. 16, no. 20, p. 7025, Oct. 2023, doi: 10.3390/en16207025.
- [3] R. Darmawan, A. I. Dewantoro, and E. Mardawati, "Coconut Shell-Based Briquettes for Sustainable Energy: A bibliometric study on biomass mixtures and binder materials," *International Journal of Applied Sciences and Smart Technologies*, vol. 7, no. 2, pp. 345–370, Dec. 2025, doi: 10.24071/ijasst.v7i2.12668.
- [4] M. M. Ashfaq, G. B. Tüzemen, and A. Noor, "Exploiting agricultural biomass via thermochemical processes for sustainable hydrogen and bioenergy: A critical review," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 84, pp. 1068–1084, Aug. 2024, doi: 10.1016/j.ijhydene.2024.08.295.
- [5] G. Prasetyadi and J. Sutapa, "Utilizing Merbau wood and coconut shell wastes as biofuel in the form of pellets," *Journal of Ecological Engineering*, vol. 24, no. 1, pp. 172–178, Nov. 2022, doi: 10.12911/22998993/156057.
- [6] F. Vieira et al., "Coconut Waste: Discovering Sustainable Approaches to Advance a Circular Economy," *Sustain.*, vol. 16, no. 7, 2024, doi: 10.3390/su16073066.
- [7] S. U. Yunusa, E. Mensah, K. Preko, S. Narra, A. Saleh, and S. Sanfo, "A comprehensive review on the technical aspects of biomass briquetting," *Biomass Convers. Biorefinery*, vol. 14, no. 18, pp. 21619–21644, 2024, doi: 10.1007/s13399-023-04387-3.
- [8] P. Hemalatha et al., "Multi-faceted CRISPR-Cas9 strategy to reduce plant based food loss and waste for sustainable bio-economy – A review," *Journal of Environmental Management*, vol. 332, p. 117382, Feb. 2023, doi: 10.1016/j.jenvman.2023.117382.
- [9] Badan Standardisasi Nasional. Standar Nasional Indonesia Nomor 01-6235-2000 tentang Briket Arang Kayu.
- [10] A. I. Dewantoro, M. Fauzan, M. A. R. Lubis, D. Nurliasari, and E. Mardawati, "Carboxymethyl holocellulose as alternative carbohydrate-based binder for biomass briquette development," *Advances in Food Science Sustainable Agriculture and Agroindustrial Engineering*, vol. 7, no. 4, pp. 292–301, Dec. 2024, doi: 10.21776/ub.afssae.2024.007.04.2.
- [11] D. P. F. Fajri and A. Takwanto, "Proses Aktivasi Arang dari Tempurung Kelapa Menggunakan Aktivasi Fisika dengan Microwave dan Variasi Waktu," *Distilat Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 10, no. 2, pp. 476–484, Jun. 2024, doi: 10.33795/distilat.v10i2.5216.
- [12] M. A. I. Iswara, A. Mustain, M. Mufid, and P. Prayitno, "Studi Literatur Karakteristik Briket dengan Perbedaan Rasio Campuran Arang Tempurung Kelapa dan Biomassa Lainnya," *Distilat Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 10, no. 1, pp. 56–69, Mar. 2024, doi: 10.33795/distilat.v10i1.4466.
- [13] S. Suryaningsih and O. Nurhilal, "Sustainable energy development of bio briquettes based on rice husk blended materials: an alternative energy source," *Journal of Physics Conference Series*, vol. 1013, p. 012184, May 2018, doi: 10.1088/1742-6596/1013/1/012184.
- [14] H. Tambunan, A. Nuryawan, A. H. Iswanto, I. Risnasari, M. Basyuni, and W. Fatriasari, "Briquettes made of branches wood of three mangrove species bonded by starch adhesive," *Materials*, vol. 16, no. 15, p. 5266, Jul. 2023, doi: 10.3390/ma16155266.
- [15] T. Olugbade, O. Ojo, and T. Mohammed, "Influence of binders on combustion properties of biomass briquettes: a recent review," *BioEnergy Research*, vol. 12, no. 2, pp. 241–259, Apr. 2019, doi: 10.1007/s12155-019-09973-w.
- [16] H. A. Ajimotokan, A. O. Ehindero, K. S. Ajao, A. A. Adeleke, P. P. Ikubanni, and Y. L. Shuaib-Babata, "Combustion characteristics of fuel briquettes made from charcoal particles and sawdust agglomerates," *Scientific African*, vol. 6, p. e00202, Oct. 2019, doi: 10.1016/j.sciaf.2019.e00202.
- [17] R. K. Ahmad, S. A. Sulaiman, S. Yusup, S. S. Dol, M. Inayat, and H. A. Umar, "Exploring the potential of coconut shell biomass for charcoal production," *Ain Shams Engineering*

- Journal, vol. 13, no. 1, p. 101499, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.asej.2021.05.013.
- [18] A. K. Sunnu, K. A. Adu-Poku, and G. K. Ayetor, "Production and Characterization of Charred Briquettes from Various Agricultural Waste," *Combustion Science and Technology*, vol. 195, no. 5, pp. 1000–1021, Sep. 2021, doi: 10.1080/00102202.2021.1977803.
- [19] Z. J. Freddy et al., "Physicochemical and hygroscopic properties of charcoals produced from residues of two tropical woods from Cameroon," *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, vol. 43, no. 7, pp. 1185–1208, Jul. 2022, doi: 10.1080/19392699.2022.2104264.
- [20] R. B. D. Hatmojo, R. A. Putra, L. A. Akbar, H. Mulyasih, and Y. S. Nugroho, "Experimental study on leaf litter briquettes combustion as alternative energy source for cooking," *AIP Conference Proceedings*, vol. 2259, p. 030019, Jan. 2020, doi: 10.1063/5.0013690.
- [21] I. L. Mpungu, O. Maube, P. Nziu, J. I. Mwasiagi, B. Dulo, and O. Bongomin, "Optimizing waste for energy: Exploring municipal solid waste variations on torrefaction and biochar production," *International Journal of Energy Research*, vol. 2024, no. 1, Jan. 2024, doi: 10.1155/2024/4311062.
- [22] R. Moya, C. Tenorio, and J. Quesada-Kimzey, "Charcoal production from four tropical woods through slow pyrolysis under different temperatures: yield of different products and condition of pyrolysis into the reactor," *Biomass Conversion and Biorefinery*, vol. 15, no. 4, pp. 5533–5550, Feb. 2024, doi: 10.1007/s13399-024-05366-y.
- [23] V. S. Nagtode et al., "Green Surfactants (Biosurfactants): a Petroleum-Free substitute for Sustainability—Comparison, applications, market, and future Prospects," *ACS Omega*, vol. 8, no. 13, pp. 11674–11699, Mar. 2023, doi: 10.1021/acsomega.3c00591.
- [24] A. Ali et al., "Insight into the Biomass-Based Briquette Generation from Agro-Residues: Challenges, Perspectives, and Innovations," *BioEnergy Research*, vol. 17, no. 2, pp. 816–856, Jan. 2024, doi: 10.1007/s12155-023-10712-5.
- [25] W. H. Foo et al., "Recent advances in the conversion of waste cooking oil into value-added products: A review," *Fuel*, vol. 324, p. 124539, May 2022, doi: 10.1016/j.fuel.2022.124539.