

ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH USAHA PENYULINGAN MINYAK ATSIRI CENGKEH TERHADAP KARAKTERISTIK BIOBRIKET SEKAM PADI.

Suhartoyo^{1*}

¹Program Studi Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Warga Surakarta,
Jl Raya Solo baki Km 2 Kwarasan Solobaru, Sukoharjo.
E-mail: ^{1*}suhartoyo@sttw.ac.id

Keywords: *Rice husk, cloves, calories, briquettes, energy.*

Abstract

This study aims to determine the characteristics of briquettes made from rice husk mixed with clove essential oil distillation waste. This study also confirmed that process parameters, such as compaction pressure, particle granulometry, and adhesive usage, play an important role. The superiority of Variation 3 can be attributed to the synergy of the physicochemical properties of both raw materials. Based on proximate analysis, clove stalks contributed a higher calorific value (4334 Cal/kg) and a significantly lower ash content (5.23%) compared to rice straw (3232.24 Cal/kg; ash content 16.03%). This 50:50 combination successfully created briquettes with a good balance between energy content (fixed carbon and calorific value) and non-combustible residue (ash), resulting in more effective and efficient combustion.

Kata kunci: *Sekam padi, cengkeh, kalori, briket, energi.*

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik briket dengan bahan baku sekampadi dicampur dengan limbah penyulingan minyak atsiri cengkeh. Penelitian ini juga mengonfirmasi bahwa parameter proses, seperti tekanan kompaksi, granulometri partikel, dan penggunaan perekat, memegang peranan penting. Keunggulan Variasi 3 dapat diatribusikan pada sinergi sifat fisiko kimia kedua bahan baku. Berdasarkan analisis proksimat, tangkai cengkeh menyumbangkan nilai kalori yang lebih tinggi (4334 Kal/kg) dan kadar abu yang jauh lebih rendah (5,23%) dibandingkan jerami padi (3232,24 Kal/kg; kadar abu 16,03%). Kombinasi 50:50 ini berhasil menciptakan briket dengan keseimbangan yang baik antara kandungan energi (karbon tertambat dan nilai kalori) dan residu non-combustible (abu), sehingga menghasilkan pembakaran yang lebih efektif dan efisien.

PENDAHULUAN

Krisis energi dan degradasi lingkungan merupakan dua isu krusial yang dihadapi dunia pada abad ke-21. Ketergantungan yang masif terhadap bahan bakar fosil telah terbukti menjadi pedang bermata dua: di satu sisi menjadi motor penggerak industrialisasi, namun di sisi lain menjadi penyebab utama emisi gas rumah kaca, polusi udara, dan perubahan iklim global (Kpalo et al., 2020). Menipisnya cadangan sumber daya tak terbarukan ini juga menciptakan volatilitas harga dan ketidakpastian pasokan energi di masa depan. Kondisi ini mendorong komunitas global,

termasuk Indonesia, untuk melakukan transisi energi menuju sumber-sumber yang lebih bersih, berkelanjutan, dan terbarukan.

Biomassa berasal dari limbah pertanian, perkebunan, dan kehutanan, menawarkan solusi energi terbarukan yang bersifat netral karbon. Karbon dioksida (CO_2) yang dilepaskan selama pembakaran biomassa secara teoritis akan diserap kembali oleh tumbuhan generasi berikutnya melalui fotosintesis (Wu et al., 2025). Salah satu sumber biomassa yang paling melimpah dan belum dimanfaatkan secara optimal di Indonesia adalah sekam padi.

Karesidenan Surakarta, yang dikenal sebagai salah satu sentra produksi padi di Jawa Tengah, menghasilkan limbah sekam padi dalam volume yang sangat besar setiap musim panen. Sayangnya, potensi ekonomis dan energi dari limbah ini sering terabaikan. Sebagian besar sekam padi hanya dibakar di tempat, dibuang, atau digunakan sebagai alas kandang ternak, praktik yang kurang memberikan nilai tambah signifikan dan justru dapat menimbulkan polusi (Aditya et al., 2025). Mengkonversi sekam padi menjadi biobriket merupakan salah satu teknologi tepat guna yang dapat mengubah limbah menjadi produk bernilai. Biobriket adalah bahan bakar padat hasil pemadatan biomassa yang memiliki densitas energi lebih tinggi, laju bakar lebih terkontrol, dan lebih mudah ditangani dibandingkan biomassa mentahnya.

Meskipun demikian, biobriket yang dihasilkan murni dari sekam padi memiliki beberapa tantangan teknis. Kandungan silika yang tinggi menyebabkan kadar abu sisa pembakaran menjadi tinggi, dan nilai kalornya cenderung lebih rendah jika dibandingkan dengan batubara kualitas rendah (Gwu et al., 2024). Penelitian ini mengusulkan pemanfaatan cengkeh (*Syzygium aromaticum*) sebagai aditif. Cengkeh, yang juga banyak dibudidayakan di sekitar wilayah Karesidenan Surakarta, dikenal kaya akan senyawa eugenol. Eugenol adalah komponen utama dalam minyak atsiri cengkeh yang memiliki struktur kimia kaya energi dan berpotensi meningkatkan nilai kalor biobriket secara signifikan (Jose et al., 2025). Dalam proses pengepresan bertekanan tinggi, minyak dalam cengkeh dapat membantu merekatkan partikel-partikel sekam padi, sehingga menghasilkan biobriket yang lebih padat, kuat, dan tidak mudah rapuh (Witdarko et al., 2023). Diharapkan penambahan cengkeh dapat secara efektif mengatasi kelemahan biobriket sekam padi, yaitu dengan meningkatkan nilai kalor serta memperbaiki sifat fisiknya. Penelitian ini akan melakukan analisis mendalam mengenai pengaruh variasi persentase penambahan cengkeh terhadap karakteristik kunci biobriket, meliputi nilai kalor, kadar air, kadar abu, densitas, dan laju pembakaran, untuk menemukan formula optimal yang dapat dikembangkan sebagai sumber energi alternatif berbasis potensi lokal (Njonge, 2023).

Biomassa menonjol karena kemampuannya untuk diubah menjadi berbagai bentuk energi (padat, cair, dan gas) dan dapat disimpan, sehingga dapat menyediakan pasokan energi yang lebih stabil dibandingkan sumber terbarukan intermiten seperti surya dan angin (Mitchual et al., 2013).

Konversi biomassa menjadi bahan bakar padat melalui proses densifikasi, seperti pembuatan biobriket, merupakan metode yang efisien untuk meningkatkan nilai guna biomassa. Proses ini memadatkan material yang awalnya memiliki kerapatan rendah menjadi produk dengan kerapatan energi (energi per unit volume) yang jauh lebih tinggi, sehingga lebih efisien untuk transportasi, penyimpanan, dan penggunaan akhir.

Tabel 1 Komposisi Kimia Umum Sekam Padi

Komponen	Persentase Berat Kering (%)	Fungsi dalam Pembakaran
Selulosa	35 – 45	Komponen utama yang terbakar
Hemiselulosa	15 – 25	Terurai pada suhu lebih rendah, membantu penyalaan
Lignin	20 – 30	Memiliki nilai kalor tinggi; berfungsi sebagai pengikat alami
Abu (dominan Silika, SiO ₂)	15 – 20	Sisa pembakaran yang tidak menghasilkan energi

(Sumber: Dirangkum dari (A et al., 2022))

Di dalam minyak atsiri cengkeh terdapat senyawa fenolik bernama eugenol merupakan komponen dominan (72-90%). Struktur eugenol yang mengandung cincin benzena dan gugus alil membuatnya menjadi molekul yang kaya energi. Pemanfaatannya sebagai aditif dalam biobriket didasarkan pada dua hipotesis utama: Sebagai peningkat nilai kalor, pembakaran senyawa aromatik seperti eugenol melepaskan energi yang besar. Penambahan cengkeh, bahkan dalam persentase kecil, diharapkan dapat mendongkrak nilai kalor total dari biobriket campuran secara signifikan (Afida et al., 2024). Agen pengikat (binder), saat dipanaskan dan diberi tekanan selama proses briketisasi, minyak atsiri cengkeh dapat berfungsi sebagai perekat alami. Minyak ini akan mengisi rongga antar partikel sekam padi dan, bersama dengan lignin yang melunak, membentuk matriks yang solid dan kuat (Biantoro; & Widayat, 2021)(faldi Lulrahman, Miftahurrahmah, 2020). Hal ini berpotensi meningkatkan densitas dan kekuatan tekan biobriket, membuatnya tidak mudah pecah. Produksi biobriket dari sekam padi dan cengkeh mengikuti beberapa tahapan proses yang krusial untuk menentukan kualitas produk akhir. Preparasi Bahan: Sekam padi dan cengkeh dikeringkan hingga kadar air di bawah 12% untuk memaksimalkan efisiensi pembakaran dan mencegah pembentukan asap berlebih (Saneewongnaayuttaya et al., 2020). Selanjutnya, bahan digiling atau dihaluskan untuk mendapatkan ukuran partikel yang seragam (misalnya, lolos ayakan 40-60 mesh), yang penting untuk pencampuran homogen dan pemadatan yang efektif. Tahap karbonisasi melibatkan pemanasan bahan baku pada suhu tinggi (300°-500°C) dalam kondisi minim oksigen. Proses ini akan mengubah biomassa menjadi arang (biochar), dengan keunggulan kandungan karbon tetap yang lebih tinggi dan zat terbang yang lebih rendah. Briket arang cenderung menghasilkan lebih sedikit asap dan nyala api yang lebih stabil seperti bara. Namun, proses ini memerlukan energi tambahan dan dapat mengurangi rendemen massa (Gwu et

al., 2014). Penelitian ini dapat memilih untuk melakukan karbonisasi terlebih dahulu atau melakukan densifikasi langsung. Pencampuran: Arang sekam padi dan serbuk cengkeh (atau bahan mentahnya jika tanpa karbonisasi) dicampur secara merata sesuai rasio komposisi yang telah ditetapkan dalam variabel penelitian. Jika diperlukan, perekat tambahan seperti tepung tapioka dapat ditambahkan, namun diharapkan fungsi perekat dari cengkeh sudah memadai. Pengepresan (densifikasi), campuran dimasukkan ke dalam cetakan silinder dan dipadatkan menggunakan mesin pres (hidrolik atau ulir) pada tekanan yang sangat tinggi (misalnya, 120-150 MPa). Tekanan dan panas yang timbul akibat gesekan akan menyebabkan partikel-partikel saling terikat, dibantu oleh lignin dari sekam padi dan minyak dari cengkeh, membentuk briket yang padat (Hasibuan et al., 2023). Pengeringan akhir, briket yang baru dicetak kemudian dioven pada suhu rendah (misalnya, 80-105°C) selama beberapa jam untuk menghilangkan sisa kelembapan, mengeraskan strukturnya, dan menstabilkan kualitasnya. Kualitas biobriket dievaluasi melalui serangkaian pengujian standar untuk mengetahui karakteristik fisis, kimia, dan termalnya. Analisis ini menguraikan komposisi dasar briket yang berhubungan langsung dengan perilakunya saat dibakar. Kadar Air (moisture content), persentase air yang terkandung dalam briket. Kadar air yang tinggi (>12%) sangat tidak diinginkan karena menyerap energi panas untuk penguapan, sehingga menurunkan nilai kalor efektif (Obi et al., 2022) (Donald et al., 2022). Kadar abu (ash content): Bagian anorganik yang tidak terbakar dan tertinggal sebagai sisa pembakaran. Kadar abu yang tinggi mengurangi proporsi bahan bakar yang dapat menghasilkan energi dan dapat menyebabkan penyumbatan pada tungku. Penambahan cengkeh yang memiliki kadar abu rendah diharapkan dapat sedikit menurunkan kadar abu total dari biobriket (Biantoro; & Widayat, 2021). Kadar zat terbang (*volatile matter*), komponen yang menguap menjadi gas saat briket dipanaskan tanpa oksigen. Zat terbang yang tinggi mempermudah penyalaan awal tetapi menyebabkan pembakaran lebih cepat dan berasap. Karbon tetap (*fixed carbon*), karbon murni yang tersisa setelah zat terbang dihilangkan. Ini adalah sumber utama energi panas yang dilepaskan selama pembakaran fase bara yang berlangsung lama.

Nilai kalor (*calorific value*), parameter terpenting yang mendefinisikan jumlah energi panas per unit massa bahan bakar (satuan: kal/g atau MJ/kg). Semakin tinggi nilai kalor, semakin baik kualitas bahan bakar tersebut (Nazari et al., 2019). Densitas, massa briket per unit volume (satuan: g/cm³). Densitas yang tinggi menandakan briket yang padat dan kuat, sehingga memiliki kepadatan energi yang tinggi dan lebih tahan lama selama penyimpanan dan distribusi (Egatama, 2023). Laju Pembakaran (*burning rate*): Kecepatan berkurangnya massa briket selama pembakaran (satuan: g/menit). Laju bakar yang ideal bersifat lambat dan stabil, yang menunjukkan bahwa energi dilepaskan secara efisien dalam durasi yang panjang (Roman & Grzegorzewska, 2024).

METODE

Metode penelitian ini menguraikan tahapan-tahapan yang dilakukan secara sistematis, mulai dari persiapan bahan hingga analisis data, untuk menganalisis pengaruh penambahan cengkeh terhadap karakteristik biobriket sekam padi. Tempat pelaksanaan penelitian di lab energi Sekolah Tinggi Teknologi Warga Surakarta. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah: sekam padi yang diperoleh dari salah satu sentra penggilingan padi di wilayah Surakarta. cengkeh: jenis cengkeh lokal yang diperoleh dari perkebunan di wilayah Karanganyar. Perekat menggunakan tepung tapioka (kanji) sebanyak 10% dari total massa briket. Peralatan yang digunakan antara lain adalah timbangan digital, ayakan (saringan) ukuran 60 mesh, drum karbonisasi, alat penumbuk, dan wadah pencampur, mesin cetak briket tipe hidrolis (atau tipe ulir/manual) dengan tekanan konstan. Pengeringan briket secara alami yaitu briket dijemur disiang hari. Alur penelitian digambarkan dalam langkah-langkah berikut: Sekam padi dijemur di bawah sinar matahari selama 2-3 hari untuk mengurangi kadar air awal. Sekam padi yang sudah kering kemudian diubah menjadi arang sekam melalui proses karbonisasi menggunakan drum pada suhu $\pm 400^{\circ}\text{C}$ selama 2 jam hingga menjadi arang. Arang sekam dan cengkeh kering masing-masing ditumbuk hingga halus, lalu diayak menggunakan saringan 60 mesh untuk mendapatkan ukuran partikel yang seragam. Arang sekam dan serbuk cengkeh ditimbang dan dicampur sesuai dengan komposisi variabel penelitian. Larutan perekat dicampurkan ke dalam campuran arang sekam dan cengkeh, lalu diaduk hingga homogen dan membentuk adonan yang siap cetak. Adonan dimasukkan ke dalam mesin cetak briket dan diberi tekanan konstan (misalnya 100 kg/cm^2) selama beberapa saat. Briket basah yang telah dicetak kemudian diangin-anginkan selama 24 jam. Proses pengeringan dengan panas sinar matahari sampai betul betul kering.

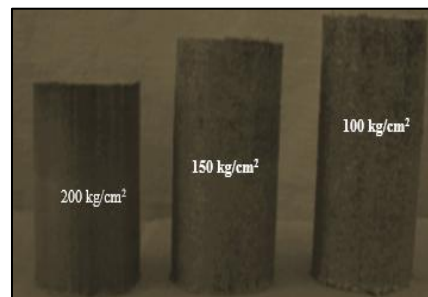
HASIL DAN PEMBAHASAN

Kedua bahan baku dijemur dibawah sinar matahari sampai betul betul kering, kemudian di lakukan uji proximate, hasil pengujian proximate bahan cengkeh dan jerami didapat data sebagai berikut:

Tabel 2. Sifat Cengkeh dan Jerami

Keterangan	Cengkeh	Jerami
Volatile (%)	47,23	62,45
Fixed carbon (%)	13,14	14,35
Kadar air (%)	9,112	8,06
Kadar abu (%)	5,231	16,03
Kadar Kalori (Kal/kg)	4334	3232,24

Proses pembuatan briket diawali dengan preparasi dua material utama, yaitu cengkeh dan jerami, yang sifat-sifatnya dirangkum pada Tabel 1. Masing-masing material tersebut dihancurkan secara terpisah hingga mencapai tekstur yang halus. Serbuk yang dihasilkan kemudian disaring untuk memperoleh ukuran partikel yang spesifik, yaitu partikel yang berhasil melewati saringan 40 mesh namun tertahan pada saringan 60 mesh. Selanjutnya, material yang telah lolos seleksi ukuran ditimbang sesuai komposisi variabel penelitian yang telah ditetapkan. Tahap berikutnya adalah proses homogenisasi, di mana bahan baku dicampur secara manual hingga merata sempurna. Selama proses ini, ditambahkan perekat berupa gel dari 5% berat total tepung tapioka yang dilarutkan dalam air panas. Langkah akhir adalah pemadatan setiap variasi campuran menggunakan mesin press hidrolis manual. Proses pengepresan ini menerapkan tiga variasi tekanan berbeda, yaitu 100 kg/cm², 150 kg/cm², dan 200 kg/cm², yang pengukurannya dipantau melalui manometer pada mesin.



Gambar 1. Briket dengan variasi tekanan.

Gambar 1 menyajikan visualisasi spesimen briket hasil proses kompaksi dengan variasi tekanan. Spesimen ini difabrikasi dari partikel biomassa dengan rentang granulometri spesifik (lolos 40 mesh, tertahan 60 mesh) dan menggunakan tepung kanji sebagai agen pengikat. Evaluasi ketahanan kompresi dilakukan pada tekanan 500 kg/cm² terhadap spesimen berdiameter 30 mm dan panjang cetakan 60 mm, yang menghasilkan nilai rata-rata 0.8 untuk seluruh variasi. Penggunaan zat pengikat, meskipun bertujuan meningkatkan kohesi antarpartikel, memiliki implikasi ganda. Konsentrasi perekat yang berlebihan berkontribusi pada peningkatan residu abu pasca-pembakaran dan penurunan kualitas nyala. Secara kimiawi, penambahan perekat

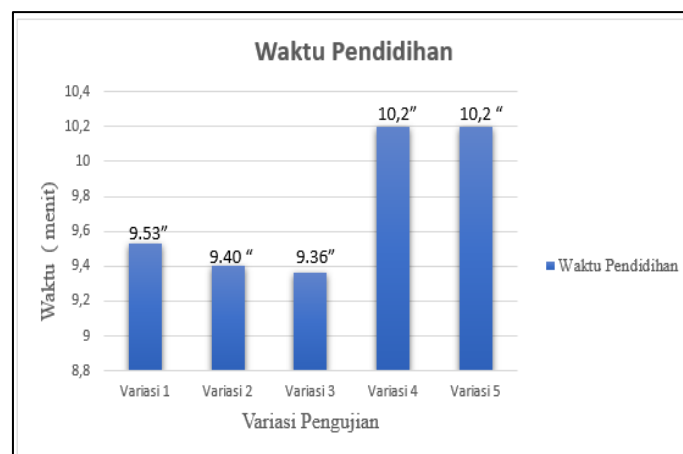
berpotensi menekan fraksi *volatile matter*. Tingginya kadar *volatile matter* sendiri tidak diinginkan karena berbanding terbalik dengan kandungan karbon tertambat (*fixed carbon*) dan menjadi penyebab utama emisi asap saat ignisi (Rahman et al., 2022).

Terkait granulometri, ditemukan bahwa partikel halus menghasilkan struktur briket dengan porositas rendah (Nazari et al., 2019). Namun, dalam uji kompresi, struktur dengan porositas lebih tinggi (dari partikel besar) menunjukkan ketahanan mekanis superior karena mekanisme pengisian rongga internal yang mendahului fraktur material. Konsekuensinya, reduksi ukuran partikel secara ekstensif dinilai tidak efisien dari segi energi dan biaya.



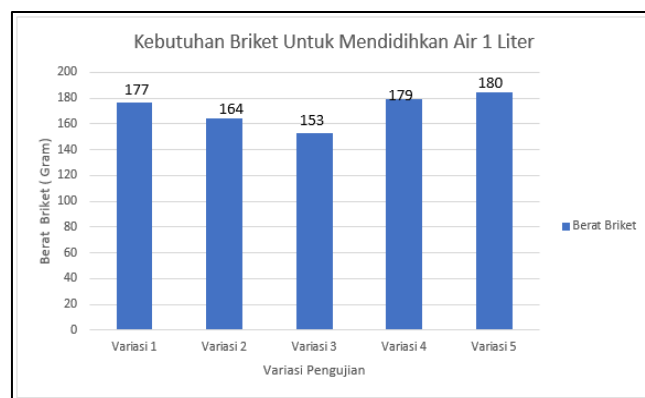
Gambar 1. Proses pengujian briket

Prosedur pengujian performa bahan bakar untuk setiap varian briket, sebagaimana diilustrasikan pada gambar 1, dilakukan untuk mendapatkan data kuantitatif. Hasil evaluasi kinerja ini diperoleh dengan mengukur dua parameter kunci: jumlah bahan bakar yang dibutuhkan dan waktu untuk mendidihkan satu liter air. Data yang terkumpul disajikan sebagai berikut:



Gambar 2. Lama waktu pendidihan air 1 liter.

Analisis data yang divisualisasikan pada Gambar 2 mengungkapkan perbedaan signifikan dalam kinerja termal antar-variasi briket. Grafik tersebut memetakan durasi yang diperlukan oleh setiap komposisi untuk memanaskan 1 liter air hingga mendidih. Kinerja termal paling efisien ditunjukkan oleh Variasi 3, dengan komposisi 50% biomassa cengkeh pasca-distilasi dan 50% arang jerami padi, yang mencatatkan waktu pendidihan terendah. Di sisi lain spektrum kinerja, Variasi 4 (25% cengkeh, 75% arang jerami) dan Variasi 5 (100% arang jerami) menunjukkan efisiensi waktu terendah. Kedua variasi tersebut secara konsisten memerlukan waktu 10 menit lebih 2 detik untuk menyelesaikan tugas pemanasan yang sama.



Gambar 3. Kebutuhan briket untuk mendidihkan air 1 liter

Grafik pada Gambar 3 menyajikan perbandingan efisiensi bahan bakar antar-variasi briket, yang diukur berdasarkan massa yang dibutuhkan untuk mendidihkan 1 liter air. Hasilnya menunjukkan bahwa Variasi 3 merupakan yang paling efisien, hanya memerlukan 153 gram bahan bakar untuk menyelesaikan tugas tersebut. Variasi ini dibuat dari campuran 50% serbuk cengkeh sisa destilasi dan 50% arang jerami padi. Sebaliknya, konsumsi bahan bakar tertinggi tercatat pada Variasi 5, yang membutuhkan 180 gram briket dan seluruhnya terdiri dari 100% arang jerami padi.

KESIMPULAN

Studi ini juga mengonfirmasi bahwa parameter proses, seperti tekanan kompaksi, granulometri partikel, dan penggunaan perekat, memegang peranan penting. Tekanan sebesar 100–200 kg/cm² pada partikel berukuran spesifik (lolos 40 mesh, tertahan 60 mesh) dengan perekat tapioka 5% terbukti mampu menghasilkan briket yang solid. Namun, perlu menjadi catatan bahwa pemilihan ukuran partikel dan konsentrasi perekat merupakan aspek kritis yang harus dioptimalkan untuk menyeimbangkan antara kekuatan mekanis briket dengan efisiensi energi proses dan kualitas pembakaran. Keunggulan Variasi 3 dapat diatribusikan pada sinergi sifat fisikokimia kedua bahan baku. Berdasarkan analisis proksimat, tangkai cengkeh menyumbangkan nilai kalori yang lebih

tinggi (4334 Kal/kg) dan kadar abu yang jauh lebih rendah (5,23%) dibandingkan jerami padi (3232,24 Kal/kg; kadar abu 16,03%). Kombinasi 50:50 ini berhasil menciptakan briket dengan keseimbangan yang baik antara kandungan energi (karbon tertambat dan nilai kalori) dan residu non-combustible (abu), sehingga menghasilkan pembakaran yang lebih efektif dan efisien.

REFERENSI

A, E. P., Emmanuel, G., Oumar, S., L, N. V., & V, B. B. (2022). Temperature on the Fuel Briquettes From Rice Husks. *E3S Web of Conferences*, 03004, 1–8.

Aditya, I. A., Wijayanto, T., & Hakam, D. F. (2025). Advancing Renewable Energy in Indonesia: A Comprehensive Analysis of Challenges, Opportunities, and Strategic Solutions. *Sustainability (Switzerland)*, 17(5), 2021–2030. <https://doi.org/10.3390/su17052216>

Af'ida, L., Sani, S., & Siswati, N. D. (2024). Pemanfaatan Limbah Padat Penyulingan Daun Cengkeh Menjadi Biobriket Di Desa Kalipucang. In *Madani* (Vol. 2, Issue 2, pp. 65–69). <https://doi.org/10.37253/madani.v2i2.8685>

Biantoro, A. B., & Widayat, W. (2021). Pengaruh Tekanan Kompaksi dan Perikat Terhadap Karakteristik Briket Limbah Daun Cengkeh.pdf. *Jurnal Inovasi Mesin*, 3, 57–67.

Donald, P., Sanchez, C., Me, M., Aspe, T., & Sindol, K. N. (2022). An Overview on the Production of Bio-briquettes from Agricultural Wastes: Methods, Processes, and Quality. *Journal of Agricultural and Food Engineering*, 3(1), 1–17. <https://doi.org/10.37865/jafe.2022.0036>

Egatama, H. F. (2023). Strategi Pemasaran Produk Hasil Olahan Sekam Desa Balong, Kapanewon Girisubo, Kabupaten Gunungkidul, D.I. Yogyakarta. *Jurnal Atma Inovasia*, 3(1), 8–16. <https://doi.org/10.24002/jai.v3i1.6055>

Faldi Lulrahman, Miftahurrahmah, A. R. (2020). Pembuatan Biobriket Dari Limbah Dedaunan. In *Teknoin* (Vol. 22, Issue 9). <https://doi.org/10.20885/teknoin.vol22.iss9.art7>

Gwu, I. ., Tembe, E. T., & Shomkegh, S. . (2014). Comparative Analysis of Calorific Value of Briquettes Produced From Sawdust Particles of Daniella Oliveri and Afzelia Africana Combination At Binary and Tertiary Levels With Rice Husk. *Journal of Research in Forestry, Wildlife and Environmental*, 6(2), 13–21.

Hasibuan, R., Novita, D., & Ummah, M. (2023). Pengaruh Komposisi Bahan Baku dan Ukuran Partikel Terhadap Kualitas Biobriket dari Cangkang Buah Karet dan Ranting Kayu Effect of Raw Material Composition and Particle Size on the Quality Biobriquettes from Rubber Fruit Shells and. *Jurnal Teknik Kimia*, 12(1), 1–8.

Jose, D., Sivakumar, R., Agarwal, M., Arshad, N., Gundupalli, M. P., Thiagamani, S. M. K., Venkatachalam, P., Amornraksa, S., & Sriariyanun, M. (2025). A Comprehensive Review of Conversion of Rice Biomass Into Sustainable Products: A Green Approach Toward a Circular Economy. *Sustainable Chemistry for Climate Action*, 6(November 2024). <https://doi.org/10.1016/j.scca.2025.100069>

Kpalo, S. Y., Zainuddin, M. F., Manaf, L. A., & Roslan, A. M. (2020). A Review of Technical and Economic Aspects of Biomass Briquetting. *Sustainability (Switzerland)*, 12(11).

<https://doi.org/10.3390/su12114609>

Mitchual, S. J., Frimpong-Mensah, K., & Darkwa, N. A. (2013). Effect of Species, Particle Size and Compacting Pressure on Relaxed Density and Compressive Strength of Fuel Briquettes. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 4(1), 1–6. <https://doi.org/10.1186/2251-6832-4-30>

Nazari, M. M., San, C. P., & Atan, N. A. (2019). Combustion performance of biomass composite briquette from rice husk and banana residue. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 9(2), 455–460. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.9.2.2408>

Njonge, T. (2023). *Influence of Psychological Well-Being and School Factors on Delinquency , During the Covid-19 Period Among Secondary School Students in Selected Schools in Nakuru County : Kenya. VII(2454)*, 1175–1189. <https://doi.org/10.47772/IJRISS>

Obi, O. F., Pecenka, R., & Clifford, M. J. (2022). A Review of Biomass Briquette Binders and Quality Parameters. *Energies*, 15(7), 1–22. <https://doi.org/10.3390/en15072426>

Rahman, N. A., Ajiza, M., Anggorowati, D. A., Rastini, F. E. K., & Mustiadi, L. (2022). Clove leaf distillation using briquette fuel with starch and molasses as a binder. *Materials Today: Proceedings*, 63, S293–S296. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.03.142>

Roman, K., & Grzegorzewska, E. (2024). Biomass Briquetting Technology for Sustainable Energy Solutions: Innovations in Forest Biomass Utilization. *Energies*, 17(24). <https://doi.org/10.3390/en17246392>

Saneewongnaayuttaya, N., Panyoyai, N., Khamdaeng, T., & Wongsiriamnuay, T. (2020). Briquette Production From Rice Husk by Using Screw Compaction. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 463(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/463/1/012006>

Witdarko, Y., Yusuf, M. A., Parjono, Pamungkas, W. A., & Suryadi. (2023). The Effect of Compacting Pressure on the Quality of Rice Husk Charcoal Briquettes. *Journal of Survey in Fisheries Sciences*, 10(February). <https://doi.org/10.17762/sfs.v10i1S.1063>

Wu, M., Wei, K., Jiang, J., Xu, B. Bin, & Ge, S. (2025). Advancing Green Sustainability: A Comprehensive Review of Biomass Briquette Integration for Coal-Based Energy Frameworks. *International Journal of Coal Science and Technology*, 12(1). <https://doi.org/10.1007/s40789-025-00779-0>