JURNAL SAINS DAN TEKNOLOGI
KEILMUAN DAN APLIKASI TEKNOLOGI INDUSTRI
E-ISSN : 2615-2827 P-ISSN : 1412-5455
Volume 26, Nomor 1 Tahun 2026
https://ejurnalsttind.id/index.php/SainsdanTeknologi

Pengaruh Variasi Komposisi Spent Bleaching Earth dan Kayu Kaliandra Terhadap Kualitas Briket Sebagai Bahan Bakar Alternatif

Vina Lestari Riyandini[1)*], Sri Yanti Lisha[2)], Andi Irawan[3)], Yulmidawati[4)]

[1,2,3] Sekolah Tinggi Teknologi Industri Padang, Kota Padang, Indonesia.
[4] PT Semen Padang, Kota Padang, Indonesia.

vinalestarird@gmail.com*; sriyantilisha@gmail.com ; andi.sttind.padang@gmail.com ; yulmidawati@sig.id

ABSTRAK

Pertumbuhan industri minyak sawit meningkatkan volume limbah *Spent Bleaching Earth* (SBE) yang mengandung residu minyak 19–20% yang pengelolaannya masih menjadi tantangan lingkungan namun berpotensi untuk dioptimalkan sebagai bahan bakar terbarukan dengan dikombinasi menggunakan arang kayu kaliandra. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi komposisi campuran SBE dan arang kayu Kaliandra terhadap karakteristik termal dan fisik briket. Metode yang digunakan adalah pencampuran variasi proporsi SBE dengan arang kayu Kaliandra dengan memvariasikan rasio SBE: arang kayu Kaliandra sebesar 0:100, 10:90, 20:80, dan 30:70 (% berat). Kemudian diuji parameternya yang meliputi nilai kalor, kadar air, kadar abu, dan kadar zat menguap (*Volatile Matter*). Hasil pengujian dibandingkan dengan standar mutu briket arang kayu (SNI 01-6235-2000). Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi komposisi berpengaruh signifikan terhadap seluruh parameter uji ($p<0,05$). Briket rasio 10:90 menghasilkan nilai kalor 5.735 kal/g, kadar air 7,72%, kadar abu 5,98%, dan kadar zat menguap 21,67%. Analisis statistik menunjukkan hubungan sangat kuat antara proporsi arang Kaliandra dengan nilai kalor (R^2=0,988), kadar air (R^2=0,971), serta kadar abu (R^2=0,957). Berdasarkan standar SNI 01-6235-2000, rasio 10:90 merupakan formulasi paling optimum karena memenuhi ambang batas mutu nilai kalor, kadar air, dan kadar abu. Meskipun kadar zat menguap masih di atas standar (>15%), briket dengan rasio 10:90 menunjukkan performa termal yang baik, sehingga dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif industri yang potensial.

Kata kunci: *Spent Bleaching Earth*, Kayu Kaliandra, Briket, Nilai Kalor, Bahan Bakar Alternatif.

ABSTRACT

The growth of the palm oil industry increases the volume of Spent Bleaching Earth (SBE) waste containing 19–20% oil residue, the management of which is still an environmental challenge but has the potential to be optimized as a renewable fuel by combining it with calliandra wood charcoal. This study aims to analyze the effect of variations in the composition of the mixture of SBE and calliandra wood charcoal on the thermal and physical characteristics of briquettes. The method used is mixing variations in the proportion of SBE with calliandra wood charcoal by varying the ratio of SBE: calliandra wood charcoal by 0:100, 10:90, 20:80, and 30:70 (wt%). Then the parameters were tested including calorific value, water content, ash content, and Volatile Matter content. The test results were compared with the quality standards for wood charcoal briquettes (SNI 01-6235-2000). The results showed that variations in the composition had a significant effect on all test parameters ($p <0.05$). Briquettes with a 10:90 ratio produce a calorific value of 5,735 cal/g, a moisture content of 7.72%, an ash content of 5.98%, and a Volatile Matter content of 21.67%. Statistical analysis shows a very strong relationship between the proportion of Kaliandra charcoal and the calorific value (R2=0.988), moisture content (R2=0.971), and ash content (R2=0.957). Based on the SNI 01-6235-2000 standard, the 10:90 ratio is the most optimal formulation because it meets the quality thresholds for calorific value, moisture content, and ash content. Although the Volatile Matter content is still above the standard (>15%), briquettes with a 10:90 ratio show good thermal performance, so they can be used as a potential alternative industrial fuel.

Keywords: *Spent Bleaching Earth, Kaliandra Wood, Briquettes, Calorific Value, Alternative Fuel.*

Copyright (c) 2026 Vina Lestari Riyandini, Sri Yanti Lisha, Andi Irawan, Yulmidawati
DOI: https://doi.org/10.36275/7n53z644

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi global dan nasional terus mengalami peningkatan yang signifikan seiring dengan pertumbuhan populasi dan industrialisasi. Ketergantungan yang masih dominan terhadap bahan bakar fosil telah memicu berbagai krisis energi dan tantangan lingkungan, seperti emisi gas rumah kaca (International Energy Agency, 2024; IPCC, 2023). Oleh karena itu, pengembangan energi terbarukan berbasis biomassa menjadi langkah strategis untuk mewujudkan ketahanan energi yang berkelanjutan (Ibrahim dkk, 2023). Indonesia, sebagai produsen minyak sawit terbesar di dunia, menghadapi tantangan besar terkait pengelolaan limbah industri pengolahan minyak sawit, salah satunya adalah *Spent Bleaching Earth* (SBE). SBE merupakan limbah padat hasil proses pemucatan (*bleaching*) *Crude Palm Oil* (CPO) untuk menghilangkan zat warna dan pengotor. Industri *refinery* minyak sawit menghasilkan jutaan ton SBE setiap tahunnya, di mana material ini masih mengandung sisa minyak sebanyak 19–20% yang terperangkap dalam struktur pori adsorben (Prakoso dkk, 2024). Meskipun mengandung energi potensial, SBE sering kali dikategorikan sebagai limbah yang sulit didekomposisi dan berpotensi mencemari lingkungan jika hanya ditimbun (*landfilling*). Pemanfaatan SBE dalam bentuk briket merupakan pendekatan teknologi hijau yang mampu mengonversi residu limbah menjadi produk ramah lingkungan (Abdelbasir dkk., 2023).

Dalam pembuatan briket, diperlukan material penguat atau biomassa yang memiliki karakteristik pembakaran yang stabil. Kayu Kaliandra (*Calliandra calothyrsus*) menjadi pilihan yang sangat relevan karena kemampuannya tumbuh cepat, memiliki nilai kalor tinggi, dan rendah kadar abu (Putra dkk, 2024). Penggunaan kayu Kaliandra sebagai bahan baku utama briket telah banyak dilaporkan memiliki kinerja termal yang memuaskan dibandingkan jenis biomassa lainnya (Pratama dkk, 2022; Yanti dkk, 2023). Kayu kaliandra (*Calliandra calothyrsus*) merupakan tanaman energi yang memiliki nilai kalor sekitar 4.600 kkal/kg pada kayu kering dan dapat mencapai 7.200 kkal/kg pada arang hasil karbonisasi, sehingga berpotensi sebagai bahan baku energi biomassa dan briket (Stewart dkk.,2001; Mauladdini, 2022).

Meskipun potensi pemanfaatan limbah tersebut telah diketahui, terdapat *research* gap yang krusial. Sebagian besar penelitian terdahulu masih berfokus pada penggunaan perekat berbahan kimia sintetik atau hanya menggunakan biomassa tunggal (Rahman, 2024). Oleh karena itu, kombinasi SBE dan arang kayu kaliandra dipandang sebagai alternatif yang menjanjikan dalam produksi briket biomassa. Sinergi antara kandungan minyak residual pada SBE dan tingginya kandungan karbon tetap pada arang kayu kaliandra berpotensi meningkatkan nilai kalor, memperbaiki efisiensi pembakaran, serta menghasilkan briket yang memenuhi standar kualitas bahan bakar padat. Selain itu, studi mengenai optimalisasi rasio campuran SBE dan arang kayu Kaliandra, khususnya dalam konteks karakteristik termal untuk standar industri, masih sangat terbatas. Penentuan rasio yang tepat sangat penting untuk menyeimbangkan nilai kalor dan meminimalkan kadar zat menguap yang sering kali menjadi kendala dalam pemenuhan standar nasional.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi komposisi campuran SBE dan arang kayu Kaliandra terhadap karakteristik kualitas briket, meliputi nilai kalor, kadar air, kadar abu, dan kadar zat menguap (*Volatile Matter*). Hasil pengujian kemudian dikomparasikan dengan standar SNI 01-6235-2000 untuk mengevaluasi kelayakan teknisnya sebagai bahan bakar alternatif. Melalui penelitian ini, diharapkan ditemukan formulasi terbaik yang tidak hanya memenuhi standar mutu, tetapi juga memberikan solusi nyata bagi pengelolaan limbah industri yang ramah lingkungan dan bernilai ekonomis tinggi.

METODE

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen laboratorium untuk mengevaluasi pengaruh variasi komposisi spent bleaching earth (SBE) dan arang kayu kaliandra terhadap karakteristik briket yang dihasilkan. Karakteristik briket dievaluasi berdasarkan parameter nilai kalor, kadar air, kadar abu, dan kadar zat menguap (*Volatile Matter*), kemudian dibandingkan dengan standar mutu briket arang kayu berdasarkan SNI 01-6235-2000.

Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan meliputi *furnace* untuk proses karbonisasi, oven pengering, ayakan ukuran 30 mesh dan 100 mesh, cetakan briket berbentuk silinder berdiameter 1 inci, neraca analitik, *bomb calorimeter*, serta peralatan laboratorium pendukung lainnya. Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas *spent bleaching earth* (SBE) yang diperoleh dari industri pengolahan minyak sawit, kayu kaliandra (*Calliandra calothyrsus*), tepung tapioka sebagai perekat, dan akuades.

Preparasi Bahan Baku

Spent bleaching earth (SBE) dikeringanginkan selama 24 jam untuk mengurangi kandungan air sebelum digunakan. Selanjutnya kayu kaliandra dikarbonisasi pada suhu 450°C hingga terbentuk arang, kemudian digiling dan diayak menggunakan ayakan 30 mesh. Sementara itu, SBE diayak menggunakan ayakan 100 mesh untuk memperoleh ukuran partikel yang lebih seragam.

Pembuatan Briket

Spent bleaching earth (SBE) dan arang kayu kaliandra dicampurkan dengan variasi komposisi masing-masing sebesar 0:100, 10:90, 20:80, dan 30:70 (% berat). Pada setiap variasi ditambahkan perekat tepung tapioka sebanyak 5% dari total berat campuran, kemudian diaduk hingga homogen. Campuran yang telah homogen dicetak menggunakan cetakan silinder berbahan pipa *stainless steel* berdiameter 1 inci dengan panjang 10 cm. Briket yang terbentuk kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C selama 24 jam hingga mencapai kondisi kering dan stabil. Setelah proses pengeringan selesai, briket didinginkan pada suhu ruang dan selanjutnya digunakan untuk pengujian karakteristik kualitas yang meliputi nilai kalor, kadar air, kadar abu, dan kadar zat menguap (*Volatile Matter*).

Pengujian Karakteristik Briket

Karakteristik kualitas briket dianalisis melalui pengujian proksimat yang meliputi nilai kalor, kadar air, kadar abu, dan kadar zat menguap. Pengujian nilai kalor dilakukan menggunakan *Bomb Calorimeter* LECO AC-500 mengacu pada standar ISO 1928:2009. Sampel briket yang telah dihaluskan ditimbang sekitar 1 gram dan dibakar dalam kondisi oksigen bertekanan. Nilai kalor diperoleh berdasarkan energi panas yang dihasilkan selama proses pembakaran sempurna. Kemudian pengujian kadar abu dilakukan berdasarkan metode ISO 1171:2010. Sampel dipanaskan dalam *furnace* pada temperatur tinggi hingga seluruh komponen organik terbakar sempurna dan tersisa residu mineral berupa abu. Persentase kadar abu dihitung berdasarkan perbandingan massa abu terhadap massa awal sampel. Kemudian parameter kadar air ditentukan menggunakan metode oven dengan memanaskan sampel pada suhu konstan hingga tercapai berat tetap. Persentase kadar air dihitung berdasarkan selisih massa sebelum dan sesudah pengeringan. Selanjutnya pengujian kadar zat menguap dilakukan dengan memanaskan sampel dalam kondisi minim oksigen pada temperatur tertentu sesuai standar ISO 562:2010. Persentase kehilangan massa yang terjadi selama pemanasan digunakan untuk menentukan kandungan *Volatile Matter* dalam briket.

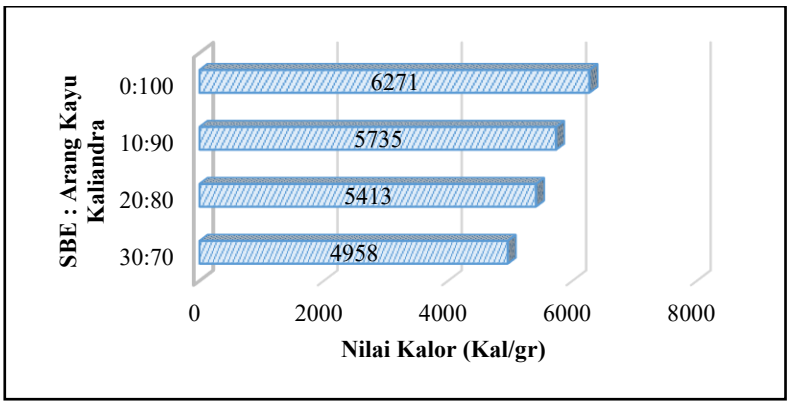
Analisis Data

Data hasil pengujian disajikan secara deskriptif dalam bentuk tabel dan grafik. Nilai kalor, kadar air, kadar abu, dan kadar zat menguap dari masing-masing variasi campuran dibandingkan dengan persyaratan mutu briket arang kayu berdasarkan SNI 01-6235-2000. Variasi komposisi terbaik ditentukan berdasarkan tingkat kesesuaian terhadap standar mutu serta karakteristik pembakaran yang dihasilkan. Variasi komposisi yang menghasilkan nilai kalor tertinggi, kadar air dan kadar abu terendah, serta memenuhi persyaratan SNI 01-6235-2000 ditetapkan sebagai komposisi optimum dalam pembuatan briket berbahan baku *spent bleaching earth* dan arang kayu kaliandra. Untuk mengetahui pengaruh variasi komposisi SBE dan arang kayu kaliandra terhadap karakteristik briket, dilakukan analisis statistik menggunakan uji *Analysis of Variance* (ANOVA) satu arah pada taraf kepercayaan 95% (α = 0,05). Sebelum dilakukan ANOVA, data terlebih dahulu diuji normalitas menggunakan uji *Shapiro–Wilk* dan diuji homogenitas varians menggunakan uji Levene. Apabila hasil ANOVA menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan ($p < 0,05$), maka seluruh analisis statistik dilakukan menggunakan perangkat lunak pengolah data statistik yang sesuai.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pengaruh Variasi Kombinasi SBE dengan Arang Kayu Kaliandra Terhadap Nilai Kalor

Nilai kalor merupakan salah satu parameter utama dalam menentukan kualitas bahan bakar padat karena menunjukkan jumlah energi panas yang dapat dilepaskan selama proses pembakaran sempurna. Variasi komposisi SBE dan arang kayu kaliandra memberikan hasil nilai kalor sebesar 4958 – 6271 kal/g. Hasil pengujian nilai kalor dari masing-masing variasi dapat dilihat pada Gambar 1. Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan proporsi arang kayu Kaliandra dalam campuran briket berbanding lurus dengan peningkatan nilai kalor yang dihasilkan. Di mana pada variasi 0:100 (arang kayu kaliandra murni) mencatatkan nilai kalor tertinggi sebesar 6.271 kal/g, sedangkan variasi 30:70 menghasilkan nilai kalor terendah yakni 4.958 kal/g. Tren ini mengindikasikan bahwa kayu kaliandra memiliki densitas energi yang lebih stabil dan efisien dibandingkan dengan residu *Spent Bleaching Earth* (SBE).



Gambar 1. Nilai Kalor dari Variasi SBE dan Arang Kayu Kaliandra

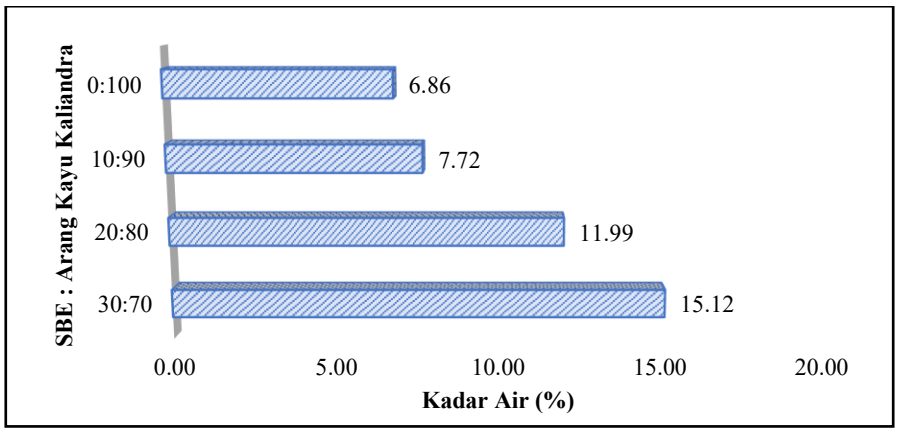
Spent bleaching earth (SBE) masih mengandung residu minyak sawit dalam jumlah yang cukup tinggi, umumnya berkisar antara 20–50% berat, sehingga berpotensi meningkatkan kandungan energi dan nilai kalor bahan bakar yang dihasilkan. Namun, SBE juga mengandung fraksi mineral anorganik yang berasal dari *bleaching earth*, seperti silikat dan aluminosilikat, yang dapat meningkatkan kadar abu selama pembakaran. Peningkatan kadar abu tersebut berpotensi menurunkan efisiensi pembakaran dan nilai kalor efektif briket yang dihasilkan (Tetrisyanda & Wibawa, 2022; Al-Ghouti & Dana, 2023).

Peningkatan nilai kalor pada variasi komposisi dengan kadar arang kayu kaliandra yang lebih tinggi disebabkan oleh struktur karbon yang lebih padat dan matang hasil dari proses karbonisasi pada suhu 400-500°C. Selain dipengaruhi oleh kandungan karbon tetap arang kaliandra, nilai kalor briket juga dipengaruhi oleh karakteristik *spent bleaching earth* (SBE). Menurut Al-Ghouti dan Dana (2023), SBE mengandung minyak residu sebesar 20–50% yang masih memiliki potensi energi cukup tinggi sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar padat maupun bahan baku produksi energi. Akan tetapi, tingginya kandungan mineral pada *bleaching earth* menyebabkan kadar abu SBE dapat mencapai 35–40%, sehingga penggunaan SBE dalam proporsi tinggi berpotensi meningkatkan residu pembakaran dan menurunkan kualitas energi bahan bakar yang dihasilkan. Sehingga peningkatan proporsi SBE dalam campuran menyebabkan penurunan nilai kalor briket yang cukup signifikan (Tang et al., 2020).

Berdasarkan analisis ANOVA satu arah menunjukkan bahwa variasi komposisi SBE dan arang kaliandra memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai kalor briket (p-value = $1{,}17 \times 10^{-8}$ atau $p < 0{,}05$). Temuan ini mengindikasikan bahwa peningkatan kandungan karbon tetap pada arang kaliandra berkontribusi langsung terhadap peningkatan energi pembakaran yang dihasilkan. Selanjutnya analisis regresi menunjukkan hubungan yang sangat kuat antara persentase arang kaliandra dan nilai kalor dengan koefisien korelasi (r) sebesar 0,994 dan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,988. Nilai tersebut menunjukkan bahwa 98,8% variasi nilai kalor dipengaruhi oleh perubahan komposisi arang kayu kaliandra. Hubungan ini mengindikasikan bahwa peningkatan proporsi biomassa terkarbonisasi mampu meningkatkan densitas energi briket secara signifikan. Menurut Nyakuma dkk (2026) biomassa dengan kandungan karbon tetap yang tinggi umumnya memiliki nilai kalor yang lebih besar dibandingkan biomassa dengan kandungan karbon tetap yang rendah.

2. Pengaruh Variasi Kombinasi SBE dengan Arang Kayu Kaliandra Terhadap Kadar Air

Kadar air merupakan salah satu parameter penting dalam menentukan kualitas briket karena berpengaruh langsung terhadap proses penyalaan, stabilitas pembakaran, serta nilai kalor yang dihasilkan. Hasil penelitian nilai kadar air dari beberapa variasi SBE dengan arang kayu kaliandra dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Nilai Kadar Air dari Variasi SBE dan Arang Kayu Kaliandra

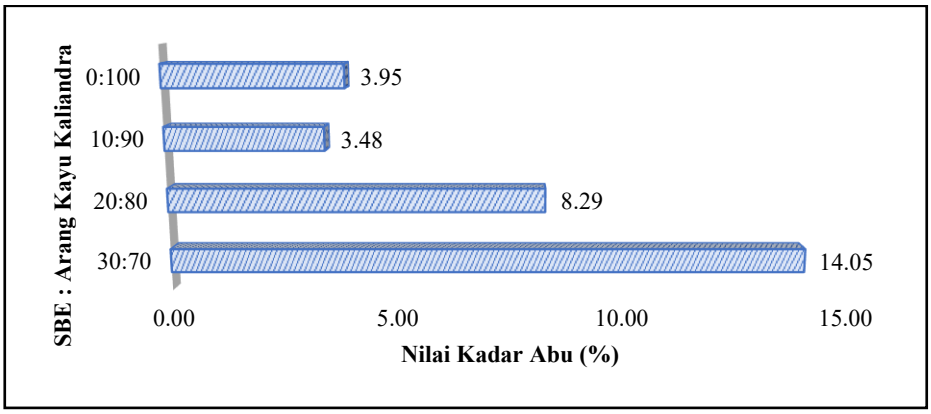
Gambar 2 menunjukkan bahwa variasi komposisi antara *Spent Bleaching Earth* (SBE) dan arang kayu kaliandra memberikan pengaruh yang nyata terhadap karakteristik higroskopis briket. Briket dengan proporsi SBE yang lebih tinggi cenderung memiliki kadar air yang lebih tinggi pula. Data menunjukkan bahwa variasi 30:70 memiliki kadar air tertinggi mencapai 15,11%, sedangkan kadar air terendah dicapai oleh variasi 0:100 sebesar 6,86%. Tingginya kadar air pada variasi dengan kandungan SBE yang dominan (30:70 dan 20:80) diduga

berkaitan erat dengan karakteristik fisik SBE sebagai adsorben. SBE memiliki struktur berpori yang berasal dari mineral aluminosilikat dan masih mempertahankan luas permukaan serta gugus aktif yang mampu mengadsorpsi molekul air, sehingga lebih mudah menyerap kelembapan dari lingkungan selama proses penyimpanan maupun pasca-pengeringan (Yulikasari dkk, 2022; Abdelbasir dkk, 2023). Selain itu, Banadda dkk (2023) melaporkan bahwa peningkatan fraksi biomassa terkarbonisasi dalam briket mampu menurunkan kadar air secara signifikan akibat berkurangnya gugus hidrofilik pada material.

Hasil analisis ANOVA satu arah menunjukkan bahwa variasi komposisi *spent bleaching earth* (SBE) dan arang kayu kaliandra memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kadar air briket (p-value = $2{,}58 \times 10^{-9}$ atau $p < 0{,}05$). Nilai kadar air mengalami penurunan secara konsisten seiring dengan meningkatnya proporsi arang kayu kaliandra dalam campuran, yaitu dari 15,12 ± 0,04% pada komposisi 30:70 menjadi 11,99 ± 0,03% pada komposisi 20:80, 7,72 ± 0,02% pada komposisi 10:90, dan 6,86 ± 0,03% pada komposisi 0:100. Hasil ini menunjukkan bahwa perubahan komposisi bahan baku berpengaruh nyata terhadap kemampuan briket dalam mempertahankan kandungan air. Untuk memperkuat hasil ANOVA, dilakukan analisis korelasi antara persentase arang kayu kaliandra dan kadar air briket. Hasil analisis menunjukkan adanya hubungan negatif yang sangat kuat antara kedua variabel tersebut dengan koefisien korelasi Pearson sebesar r = -0,985, determinasi (R^2) =0,971. Nilai korelasi yang mendekati -1 menunjukkan bahwa peningkatan proporsi arang kayu kaliandra diikuti oleh penurunan kadar air secara signifikan. Hubungan negatif ini mengindikasikan bahwa semakin tinggi kandungan arang kaliandra dalam campuran, semakin rendah kadar air yang dihasilkan pada briket.

3. Pengaruh Variasi Kombinasi SBE dengan Arang Kayu Kaliandra Terhadap Kadar Abu

Kadar abu merupakan parameter dalam evaluasi kualitas bahan bakar padat karena mencerminkan jumlah residu anorganik yang tersisa setelah proses pembakaran sempurna. Semakin tinggi kadar abu suatu briket, semakin rendah kualitas energi yang dihasilkan karena sebagian material tidak berkontribusi terhadap proses pembakaran dan berpotensi menurunkan efisiensi termal serta meningkatkan residu pembakaran (Obi dkk, 2022). Nilai kadar abu dari variasi SBE dan arang kayu kaliandra dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Nilai Kadar Abu dari Variasi SBE dan Arang Kayu Kaliandra

Gambar 3 menunjukkan hubungan antara kadar abu dan nilai kalor menunjukkan pola yang berlawanan. Variasi 30:70 memiliki kadar abu tertinggi (14,04%) dan nilai kalor terendah (4.958 kal/g), sedangkan variasi 0:100 memiliki kadar abu terendah (3,95%) dan nilai kalor tertinggi (6.271 kal/g). Tingginya kadar abu pada variasi dengan proporsi SBE yang lebih besar berkaitan dengan karakteristik SBE sebagai residu proses pemurnian minyak sawit yang tersusun atas mineral *bleaching earth* berbasis aluminosilikat. Setelah proses pembakaran,

komponen mineral seperti silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), kalsium, magnesium, dan oksida logam lainnya tidak terbakar dan akan tertinggal sebagai residu abu. Sebaliknya, arang kayu kaliandra memiliki kandungan karbon tetap yang tinggi dan kandungan mineral yang relatif lebih rendah sehingga menghasilkan residu pembakaran yang lebih sedikit. Oleh karena itu, peningkatan proporsi arang kaliandra menyebabkan kadar abu briket menurun secara signifikan (Nikiforov dkk, 2023).

Menurut Inegbedion (2022) peningkatan fraksi mineral anorganik dalam bahan baku menyebabkan penurunan fraksi bahan organik yang dapat terbakar sehingga energi yang dihasilkan menjadi lebih rendah. Hubungan negatif antara kadar abu dan nilai kalor juga dilaporkan dalam berbagai penelitian biomassa dan briket arang, di mana peningkatan kadar abu secara langsung menurunkan densitas energi bahan bakar. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Waheed dkk (2023) yang melaporkan bahwa perubahan komposisi bahan baku biomassa secara signifikan memengaruhi kadar abu dan karakteristik energi briket. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa bahan baku dengan kandungan mineral tinggi menghasilkan kadar abu lebih besar dan nilai kalor yang lebih rendah dibandingkan biomassa dengan kandungan karbon tinggi.

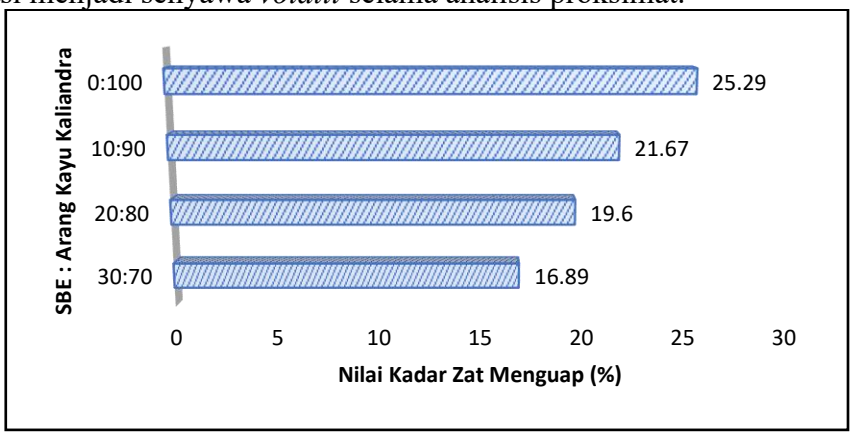
Hasil analisis ANOVA satu arah menunjukkan bahwa variasi komposisi *spent bleaching earth* (SBE) dan arang kayu kaliandra memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kadar abu briket (p-value = $7{,}91 \times 10^{-9}$ atau $p < 0{,}05$). Nilai kadar abu mengalami penurunan secara konsisten dari 14,04% pada komposisi 30:70 menjadi 8,28% pada komposisi 20:80, 5,98% pada komposisi 10:90, dan 3,95% pada komposisi 0:100. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa proporsi SBE dalam campuran merupakan faktor yang berpengaruh terhadap jumlah residu anorganik yang dihasilkan setelah proses pembakaran. Selanjutnya diperkuat dengan analisis korelasi pearson dengan nilai r = -0,978, determinasi (R^2) = 0,957, nilai ini menunjukkan hubungan negatif yang sangat kuat antara persentase arang kayu kaliandra dan kadar abu, sehingga peningkatan proporsi arang kayu kaliandra diikuti oleh penurunan kadar abu secara signifikan. Nilai R^2 menunjukkan sebesar 95,7% variasi kadar abu dapat dijelaskan oleh perubahan komposisi arang kayu kaliandra dalam campuran, sedangkan 4,3% sisanya dipengaruhi oleh faktor lain seperti kandungan mineral alami biomassa, distribusi perekat, dan kondisi karbonisasi. Nilai determinasi menggambarkan bahwa komposisi campuran merupakan faktor dominan yang mengontrol kadar abu briket.

4. Pengaruh Variasi Kombinasi SBE dengan Arang Kayu Kaliandra Terhadap Kadar *Volatil*

Volatile Matter atau kadar zat menguap merupakan fraksi bahan yang terlepas dalam bentuk gas atau uap ketika biomassa dipanaskan tanpa adanya oksigen pada temperatur tinggi. Komponen ini terdiri atas berbagai senyawa *volatil* hasil dekomposisi termal biomassa, seperti hidrokarbon ringan, karbon monoksida (CO), hidrogen (H_2), metana (CH_4), tar, serta senyawa organik volatil lainnya yang terbentuk selama proses pirolisis dan gasifikasi (Ramos et al., 2024; Zhang et al., 2023). Kandungan *Volatile Matter* yang tinggi umumnya meningkatkan kemudahan penyalaan (*ignition*) dan memengaruhi karakteristik pembakaran biomassa (Galaraga dkk, 2024). Pengaruh SBE dan arang kayu kaliandra terhadap nilai kadar *volatil* dapat dilihat pada Gambar 4.

Gambar 4 menunjukkan kadar zat menguap tertinggi pada perbandingan 0:100 yaitu 25,25%, sedangkan nilai terendah pada perbandingan 30:70 sebesar 16,89%. Hal ini menunjukkan bahwa arang kayu kaliandra memberikan kontribusi yang lebih besar terhadap kandungan senyawa *volatil* dibandingkan SBE. Sebaliknya, peningkatan proporsi SBE menyebabkan penurunan kadar *Volatile Matter* karena SBE didominasi oleh komponen mineral anorganik yang tidak menghasilkan gas *volatil* selama pemanasan. Dengan demikian,

semakin tinggi kandungan SBE dalam campuran, semakin rendah fraksi bahan organik yang dapat terdegradasi menjadi senyawa *volatil* selama analisis proksimat.



Gambar 4. Nilai Kadar Zat Menguap dari Variasi SBE dan Arang Kayu Kaliandra

Dari aspek pembakaran, peningkatan *Volatile Matter* dapat memberikan keuntungan berupa kemudahan penyalaan dan pembentukan nyala api yang lebih cepat pada tahap awal pembakaran. Namun, kadar *Volatile Matter* yang terlalu tinggi dapat menyebabkan laju pembakaran meningkat sehingga waktu pembakaran menjadi lebih singkat. Oleh karena itu, diperlukan keseimbangan antara kandungan *Volatile Matter* dan karbon tetap agar diperoleh karakteristik pembakaran yang optimal. Kebede et al. (2022) melaporkan bahwa *Volatile Matter* yang tinggi dapat mempercepat proses penyalaan, sedangkan *fixed carbon* berperan mempertahankan pembakaran dalam waktu yang lebih lama. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Dewi et al. (2023) yang melaporkan bahwa peningkatan proporsi biomassa arang dalam campuran briket menyebabkan peningkatan *Volatile Matter* dan *fixed carbon* secara bersamaan. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa karakteristik volatil sangat dipengaruhi oleh kondisi karbonisasi dan komposisi bahan baku.

Berdasarkan hasil ANOVA, perbedaan kadar *Volatile Matter* antar perlakuan menunjukkan signifikansi statistik yang sangat tinggi (p-value = $4{,}36 \times 10^{-9}$ atau $p < 0{,}001$), sehingga dapat disimpulkan bahwa variasi komposisi bahan baku memberikan pengaruh nyata terhadap kadar *Volatile Matter briket*. Sedangkan Analisis Korelasi Pearson menunjukkan hubungan positif yang sangat kuat antara persentase arang kayu kaliandra dan kadar *Volatile Matter* dengan nilai $r = 0{,}995$, nilai tersebut menunjukkan bahwa peningkatan kandungan arang kayu kaliandra hampir secara linier diikuti oleh peningkatan kadar *Volatile Matter*. Tingginya nilai korelasi menunjukkan bahwa proporsi arang kayu kaliandra merupakan faktor utama yang memengaruhi kadar *Volatile Matter* pada briket. Semakin tinggi kandungan arang kaliandra, semakin besar fraksi senyawa *volatil* yang berasal dari komponen lignoselulosa hasil karbonisasi. Sebaliknya, peningkatan proporsi SBE cenderung menurunkan *Volatile Matter* karena SBE didominasi oleh material anorganik yang tidak menghasilkan senyawa volatil selama pemanasan.

5. Perbandingan Kualitas Briket dengan Baku Mutu SNI 01-6235-2000

Evaluasi kualitas briket yang dihasilkan dilakukan dengan membandingkan hasil pengujian karakteristik fisik dan kimia terhadap persyaratan mutu briket arang kayu berdasarkan SNI 01-6235-2000. Parameter yang dibandingkan meliputi kadar air, kadar abu, zat menguap (*Volatile Matter*) dan nilai kalor. Perbandingan terhadap standar mutu diperlukan untuk menentukan kelayakan briket sebagai bahan bakar alternatif serta mengidentifikasi parameter yang masih memerlukan perbaikan dalam proses produksi. Perbandingan kualitas briket dengan SNI 01-6235-2000 dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan Briket SBE dan Arang Kayu Kaliandra dengan Standar Nasional Indonesia

Briket SBE + Arang Kayu Kaliandra	Kualitas Hasil Penelitian			
	Nilai Kalor (Kal/gr)	**Kadar Air (%)**	**Kadar Abu (%)**	**Volatile Matter (%)**
30 : 70	4958	15,12	14,05	16,89
20 : 80	5413	11,99	8,29	19,6
10 : 90	5735	7,72	3,48	21,67
0 : 100	6271	6,86	3,95	25,29
Kualitas SNI 01-6235-2000				
	Min 5000	Mak 8	Mak 8	Mak 15

Berdasarkan hasil pengujian nilai kalor menunjukkan bahwa hanya pada variasi 30:70 yang tidak memenuhi persyaratan minimum SNI 01-6235-2000. Kemudian variasi SBE: arang kayu kaliandra 10:90 dan 0:100 parameter kadar abu dan kadar air telah memenuhi SNI 01-6235-2000. Namun pada parameter *Volatile Matter* atau kadar abu terbang seluruh variasi belum memenuhi SNI 01-6235-2000. Secara keseluruhan, hasil evaluasi terhadap SNI 01-6235-2000 menunjukkan bahwa komposisi SBE: arang kayu kaliandra 10:90 merupakan variasi yang paling prospektif untuk dikembangkan sebagai bahan bakar padat alternatif. Variasi ini mampu memenuhi persyaratan kadar air, kadar abu, dan nilai kalor, sekaligus tetap mengakomodasi pemanfaatan limbah SBE sebagai bahan baku. Sementara itu, komposisi 0:100 menghasilkan kualitas terbaik dari sisi karakteristik bahan bakar, namun tidak memanfaatkan limbah SBE. Oleh karena itu, dari perspektif teknologi hijau dan pengelolaan limbah industri, komposisi 10:90 dapat dianggap sebagai formulasi optimum karena mampu menyeimbangkan aspek kualitas energi dan pemanfaatan limbah secara berkelanjutan.

SIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengevaluasi pengaruh variasi komposisi *spent bleaching earth* (SBE) dan arang kayu kaliandra (*Calliandra calothyrsus*) terhadap karakteristik briket sebagai bahan bakar padat alternatif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi komposisi memberikan pengaruh yang signifikan ($p < 0,05$) terhadap nilai kalor, kadar air, kadar abu, dan kadar *Volatile Matter* briket. Berdasarkan evaluasi terhadap SNI 01-6235-2000, komposisi SBE:arang kayu kaliandra 10:90 merupakan formulasi yang paling optimum karena menghasilkan nilai kalor sebesar 5.735 kal/g, kadar air 7,72%, dan kadar abu 5,98% yang telah memenuhi standar mutu briket arang. Selain itu, komposisi tersebut tetap mampu mengakomodasi pemanfaatan limbah SBE sebagai bahan baku. Meskipun demikian, seluruh variasi perlakuan masih menunjukkan nilai *Volatile Matter* yang melebihi standar, sehingga diperlukan optimasi proses karbonisasi pada penelitian selanjutnya untuk meningkatkan kualitas briket yang dihasilkan. Secara keseluruhan, hasil penelitian membuktikan bahwa kombinasi SBE dan arang kayu kaliandra memiliki potensi yang baik untuk dikembangkan sebagai bahan bakar alternatif ramah lingkungan, dengan komposisi 10:90 sebagai formulasi yang paling prospektif untuk aplikasi praktis dan pengembangan skala industri.

DAFTAR PUSTAKA

Abdelbasir, S. M., Shehab, A. I., & Abdel Khalek, M. A. (2023). Spent bleaching earth: Recycling and utilization techniques—A review. *Resources, Conservation & Recycling Advances*, 17, 200124. https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2022.200124

Al-Ghouti, M. A., & Da'ana, D. A. (2023). Spent bleaching earth; recycling and utilization techniques: A review. *Resources, Conservation & Recycling Advances*, 17, 200124. https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2022.200124

Banadda, N., Kigozi, R., Kabenge, I., & Mulinda, C. (2023). Characterization of briquettes developed from banana peels, pineapple peels and water hyacinth. *Energy, Sustainability and Society*, 13(1), 1–15. https://doi.org/10.1186/s13705-023-00414-3

Dewi, R. P., Sumardi, S., & Isnanto, R. (2023). Analysis of fixed carbon and *Volatile Matter* briquettes of pine sawdust and coconut shell waste. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 14(3), 901–907. https://doi.org/10.21776/jrm.v14i3.1421

Galaraga, D. R., Rhenals-Julio, J. D., Sofan-German, S., Mendoza, J. M., & Bula-Silvera, A. (2024). Proximate analysis in biomass: Standards, applications and key characteristics. *Results in Chemistry*, 12, 101886. https://doi.org/10.1016/j.rechem.2024.101886

Ibrahim, H. A., Ayomoh, M. K., Bansal, R. C., Gitau, M. N., Yadavalli, V. S. S., & Naidoo, R. (2023). Sustainability of power generation for developing economies: A systematic review of power sources mix. *Energy Strategy Reviews*, 47, 101085. https://doi.org/10.1016/j.esr.2023.101085

Inegbedion, F. (2022). Estimation of the moisture content, *Volatile Matter*, ash content, fixed carbon and calorific values of saw dust briquettes. *MANAS Journal of Engineering*, 10(1), 17–20. https://doi.org/10.51354/mjen.940760

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). *Climate change 2023: Synthesis report*. IPCC.

International Energy Agency. (2024). *World energy outlook 2024*. IEA.

Kebede, T., Berhe, D. T., & Zergaw, Y. (2022). Combustion characteristics of briquette fuel produced from biomass residues and binding materials. *Journal of Energy*, 2022, 4222205. https://doi.org/10.1155/2022/4222205

Mauladdini, R. (2022). *Zat ekstraktif kayu Gliricidia sepium, Calliandra calothyrsus, dan Leucaena leucocephala serta pengaruhnya terhadap peningkatan nilai kalor biomassa* [Tesis magister, IPB University]. IPB Scientific Repository. https://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/111860

Nikiforov, A., Kinzhibekova, A., Prikhodko, E., Karmanov, A., & Nurkina, S. (2023). Analysis of the characteristics of bio-coal briquettes from agricultural and coal industry waste. *Energies*, 16(8), 3527. https://doi.org/10.3390/energ16083527

Nyakuma, B. B., Adebayo, L. L., & Akinyemi, B. A. (2026). A comprehensive review of chemical treatments for biomass feedstock to enhance briquette characteristics. *Discover Sustainability*, 7(1). https://doi.org/10.1007/s43621-026-03045-8

Obi, O. F., Pecenka, R., & Clifford, M. J. (2022). A review of biomass briquette binders and quality parameters. *Energies*, 15(7), 2426. https://doi.org/10.3390/en15072426

Prakoso, H. T., Mawardanti, A. S. S., Maftuhah, A., et al. (2024). Synthesis of residual oil from spent bleaching earth (SBE) into biodiesel using microwave reactor. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 34(2), 185–194. https://doi.org/10.24961/j.tek.ind.pert.2024.34.2.185

Pratama, D., & Kusuma, A. (2022). Bioenergy potential of Calliandra calothyrsus charcoal for briquette production. *Biomass and Bioenergy*, 160, 106432.

Putra, H. P., Kuswa, F. M., Prayoga, M. Z. E., Samudra, H. E., Prabowo, & Hariana. (2024). Investigation on combustion characteristics and ash-related issues of Calliandra calothyrsus and Gliricidia sepium using thermogravimetric analysis and drop tube furnace. *Bioresource Technology*, 394, 130212. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.130212

Rahman, M. (2024). Techno-economic analysis of waste-to-energy conversion in palm oil mills. *Environmental Science & Policy*, 134, 45-58.

Ramos, C. E. M., Silva, J. R., Silva, A. F., & Oliveira, T. J. P. (2024). Proximate analysis in biomass: Standards, applications and key characteristics. *Results in Chemistry*, 8, 101886. https://doi.org/10.1016/j.rechem.2024.101886

Stewart, J., Mulawarman, Roshetko, J. M., & Powell, M. H. (2001). *Produksi dan pemanfaatan kaliandra (Calliandra calothyrsus): Pedoman lapang*. International Centre for Research in Agroforestry (ICRAF) & Winrock International.

Tang, C., Zhang, H., Li, Y., & Chen, X. (2020). Utilization of spent bleaching earth for solid fuel production and energy recovery. *Waste Management*, 102, 741–749. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.11.032

Tetrisyanda, R., & Wibawa, G. (2022). Feasibility aspect in utilizing spent bleaching earth waste for briquette, fertilizer and oil recovery. *Materials Today: Proceedings*, 63(Suppl. 1), S84–S88. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.01.327

Waheed, M. A., Akogun, O. A., & Enweremadu, C. C. (2023). Influence of feedstock mixtures on the fuel characteristics of blended cornhusk, cassava peels, and sawdust briquettes. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 13, 16211–16226.

Yanti, H., Mariani, Y., Yusro, F., & Haryono, Z. (2023). Pemanfaatan kaliandra (Calliandra calothyrsus) sebagai bahan baku briket arang. *Tengkawang: Jurnal Ilmu Kehutanan*, 13(1), 34-42.

Yulikasari, A., Nurhayati, E., Utama, W., & Warmadewanthi, I. (2022). Characterization of spent bleaching earth as an adsorbent material for dye removal. *Journal of Ecological Engineering*, 23(4), 96–104. https://doi.org/10.12911/22998993/146353

Zhang, Y., Wang, C., Li, X., & Chen, H. (2023). Syngas production from biomass gasification: Influences of feedstock properties, reactor type, and reaction parameters. *ACS Omega*, 8(30), 27136–27154. https://doi.org/10.1021/acsomega.3c03050