

Karakteristik Biobriket Arang Campuran Limbah Batang Singkong dan Kayu Kaliandra pada Berbagai Variasi Komposisi

Rio Ardiansyah Murda^{1*}, Maeda Wahyuningrum², Rima Adzra Zahra³, Sena Maulana⁴

^{1,2,3,4}Rekayasa Kehutanan, Institut Teknologi Sumatera, Lampung, Indonesia

Email: ^{1*}rio.murda@rh.itera.ac.id, ²maeda.wahyuningrum@rh.itera.ac.id, ³rimaadzra74@gmail.com, ⁴sena.maulana@rh.itera.ac.id

Email Penulis Korespondensi: ¹ rio.murda@rh.itera.ac.id

Abstrak– Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik biobriket arang dari campuran limbah batang singkong dan kayu kaliandra pada variasi komposisi 0:100, 25:75, 50:50, 75:25, dan 100:0 (% berat). Pembuatan biobriket dilakukan melalui proses pengeringan, pengarangan, pengayakan ukuran 40–60 mesh, pencampuran dengan 5% perekat tepung kanji, pencetakan menggunakan kempa hidrolik, dan pengeringan. Karakterisasi dilakukan terhadap kerapatan, kadar air, kadar abu, kadar zat terbang, karbon terikat, nilai kalor, dan laju pembakaran. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pencampuran limbah batang singkong dan kayu kaliandra mampu memperbaiki mutu biobriket. Komposisi S50K50 memberikan hasil terbaik dengan nilai kerapatan 0,40 g/cm³, kadar air 3,65%, kadar abu 7,71%, zat terbang 26,27%, karbon terikat 66,01%, nilai kalor 7164 kal/g, dan laju pembakaran 0,09 g/menit. Seluruh komposisi memenuhi standar SNI 01-6235-2000 dan EN 1860-2-2005, namun hanya beberapa komposisi yang sesuai dengan standar GOST 7657-84. Nilai zat terbang masih relatif tinggi sehingga belum memenuhi batas standar SNI, tetapi secara keseluruhan campuran ini menunjukkan potensi tinggi sebagai bahan bakar biomassa alternatif berbasis limbah pertanian.

Kata Kunci: Briket Arang, Biomassa, Kaliandra, Limbah Batang Singkong, Nilai Kalor

Abstract– This study aims to analyze the characteristics of charcoal biobriquettes made from a mixture of cassava stem waste and calliandra wood at various composition ratios: 0:100, 25:75, 50:50, 75:25, and 100:0 (% by weight). The biobriquettes were produced through drying, carbonization, sieving (40–60 mesh), mixing with 5% starch adhesive, pressing using a hydraulic press, and sun drying. Characterizations included density, moisture content, ash content, volatile matter, fixed carbon, calorific value, and burning rate. The results showed that the combination of cassava stem waste and calliandra wood improved the overall quality of the biobriquettes. The optimal composition was found at 50:50 (S50K50), with a density of 0.40 g/cm³, moisture content of 3.65%, ash content of 7.71%, volatile matter of 26.27%, fixed carbon of 66.01%, calorific value of 7164 cal/g, and a burning rate of 0.09 g/min. All compositions met the requirements of SNI 01-6235-2000 and EN 1860-2-2005, while only selected compositions fulfilled the stricter GOST 7657-84 standard. Although the volatile matter content exceeded the SNI standard limit, the overall performance of the biobriquettes indicates promising potential as a renewable biomass fuel derived from agricultural waste.

Keywords: Charcoal Biobriquette, Biomass, Calliandra Wood, Cassava Stem Waste, Calorific Value

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi dunia terus meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk, urbanisasi, dan industrialisasi. Di sisi lain, ketergantungan terhadap bahan bakar fosil telah menyebabkan berbagai persoalan lingkungan, seperti peningkatan emisi karbon dan pemanasan global. Oleh karena itu, pengembangan energi terbarukan menjadi salah satu fokus utama dalam upaya menjadi salah satu fokus utama dalam upaya menjaga ketahanan energi dan keberlanjutan lingkungan. Energi biomassa merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang berpotensi besar, karena dapat diperoleh dari limbah organi pertanian, kehutanan, dan industri [1]. Biomassa tidak hanya berfungsi sebagai sumber energi alternatif, tetapi juga sebagai solusi dalam pengelolaan limbah yang ramah lingkungan [2]. Di Indonesia, potensi biomassa sangat melimpah, namun pemanfaatannya sebagai sumber energi masih belum optimal, padahal konsumsi energi terbarukan sangat dipengaruhi oleh ketersediaan teknologi dan kebijakan yang mendukung [3]. Pemerintah melalui Direktorat Jenderal EBTKE juga menekankan bahwa transisi energi menuju sumber terbarukan merupakan hal yang mutlak untuk mengurangi ketergantungan energi fosil dan menekan dampak lingkungan yang panjang [3].

Salah satu bentuk pemanfaatan biomassa sebagai energi alternatif yang bernilai ekonomis tinggi adalah biobriket. Biobriket merupakan bahan bakar padat yang dibuat dari biomassa melalui proses pemampatan dengan atau tanpa bahan perekat. Biobriket telah terbukti menghasilkan energi bersih dan ramah lingkungan. Briket memiliki keunggulan dibandingkan bahan bakar konvensional karena lebih mudah dikemas, dibakar tanpa asap, serta memiliki nilai kalor yang kompetitif bila menggunakan bahan baku yang tepat. Beberapa limbah biomassa yang umum digunakan sebagai bahan baku biobriket antara lain sekam padi, ampas tebu, tongkol jagung, dan limbah batang singkong. Hal tersebut karena kandungan selulosa dan ligninnya yang tinggi mendukung proses pembakaran [2].

Limbah batang singkong merupakan salah satu jenis biomassa yang melimpah dan sering kali belum dimanfaatkan secara optimal. Pada tahun 2019 total produksi singkong di Lampung mencapai 6.808.009 ton yang menjadikan Lampung sebagai daerah penghasil singkong terbesar di Indonesia dari total produksi diseluruh Indonesia sebesar 19.341.233 ton. Selain ketersediannya yang melimpah, selama ini batang singkong hanya dimanfaatkan sebesar 10% saja untuk ditanam kembali dan sisanya sebesar 90% akan menjadi limbah [4]. Limbah batang singkong merupakan biomassa yang memiliki kandungan lignoselulosa yang cukup besar, yaitu terdiri dari 56,82% α -selulosa, 21,72% lignin, dan panjang serat 0,05 – 0,5 cm [5]. Kandungan lignoselulosa yang tinggi menjadikan bahan batang singkong mudah diarangkan, tetapi nilai kalor yang dihasilkan masih rendah sehingga kurang memenuhi standar mutu energi. Untuk

meningkatkan kualitas energi dari batang singkong, perlu dikombinasikan dengan bahan lain yang memiliki nilai kalor lebih tinggi.

Kayu kaliandra merupakan salah satu jenis biomassa yang dikenal sebagai kayu energi. Hal ini dikarenakan kayu kaliandra memiliki kandungan selulosa dan lignin yang tinggi sehingga nilai kalornya yang relatif besar. Tanaman ini mudah tumbuh di berbagai jenis tanah dan sering disebut sebagai tanaman pionir, serta banyak dimanfaatkan sebagai tanaman pagar, pakan ternak, atau bahan baku wood pellet [6]. Selain bahan bakar padat, kayu kaliandra juga memiliki potensi untuk diolah menjadi biobriket karena menghasilkan energi pembakaran yang bersih dan tidak berasap [7]. Kayu kaliandra memiliki komponen penyusun seperti selulosa, hemiselulosa, lignin, dan zat ekstraktif yang berpengaruh terhadap nilai kalor [8]. Kandungan selulosa dan lignin yang tinggi mempercepat pembakaran, sedangkan zat ekstraktif memperkuat nilai kalor bahan bakar. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan kayu kaliandra dalam campuran briket limbah teh mampu meningkatkan nilai kalor secara signifikan dari 5559 kal/g menjadi 6637 kal/g, dengan kadar air dan abu yang masih sesuai dengan standar SNI 01-6235-2000 [9]. Dengan karakteristik tersebut, kayu kaliandra berpotensi besar menjadi bahan pencampur yang ideal untuk meningkatkan mutu briket berbasis limbah batang singkong. Untuk itu, tujuan penelitian ini adalah mengkaji karakteristik biobriket arang yang dibuat dari campuran limbah batang singkong dan kayu kaliandra pada berbagai komposisi.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Persiapan Bahan Baku

Limbah batang singkong dan kayu kaliandra dikeringkan terlebih dahulu hingga mencapai kadar air kering udara. Selanjutnya dilakukan proses karbonisasi dalam drum pembakaran tertutup untuk menghasilkan arang. Arang yang dihasilkan dihaluskan dan diayak menggunakan saringan mesh 40–60.

2.2 Pembuatan Briket

Pembuatan briket dilakukan dengan mencampurkan arang dari kedua bahan dalam lima versi komposisi, yaitu 0:100, 25:75, 50:50, 75:25, dan 100:0 (% berat), dengan penambahan perekat tepung kanji sebanyak 5% dari total masa campuran. Setiap variasi diberi kode sampel untuk memudahkan identifikasi (Tabel 1). Campuran adonan dicetak menggunakan alat kempa hidrolik dengan tekanan 115 kg/cm², kemudian dikeringkan selama dua hari di bawah sinar matahari.

Tabel 1. Kode dan komposisi campuran bahan baku

Kode sampel	Limbah batang singkong (%)	Kayu kaliandra (%)
K100	0	100
S25K75	25	75
S50K50	50	50
S75K25	75	25
S100	100	0

2.3 Karakterisasi Produk

Pengujian karakteristik biobriket meliputi pengukuran kerapatan, kadar air, kadar abu, zat terbang, karbon terikat, nilai kalor, dan laju pembakaran. Kadar air, abu, zat terbang, dan karbon terikat dianalisis menggunakan metode termogravimetri, sedangkan nilai kalor diuji dengan kalorimeter tipe bom. Laju pembakaran ditentukan dari perubahan massa per satuan waktu saat briket dibakar. Hasil pengujian kemudian dibandingkan dengan standar mutu nasional dan internasional, yaitu SNI 01-6235-2000, GOST 7657-84, EN 1860-02-2005, dan ASTM D 5142-02a-2003.

2.4 Analisis Data

Data hasil pengujian diolah menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel 2013 dan SPSS versi 21.0.15. Analisis dilakukan secara deskriptif dan inferensial menggunakan Rancangan Acak Lengkap Sederhana (RALS) satu faktor dengan lima perlakuan dan lima ulangan. Model rancangan dianalisis menggunakan analisis ragam (ANOVA) dengan persamaan 1:

$$Y_{ij} = \mu + A_i + \epsilon_{ij} \quad (1)$$

Keterangan:

Y_{ij} = Angka pengamatan percobaan;

μ = Rataan umum;

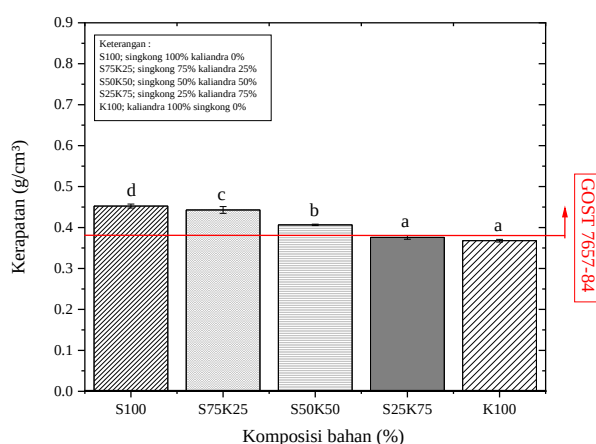
A_i = Pengaruh perlakuan ke-i dan ulangan ke-j;

ϵ_{ijk} = Kesalahan percobaan pada perlakuan ke-i, dan ulangan ke-j.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kerapatan

Kerapatan merupakan salah satu parameter penting dalam karakterisasi proses pembuatan briket. Kerapatan biobriket yang dihasilkan memengaruhi kekuatan mekanik, waktu pembakaran, dan efisiensi energi. Hasil pengujian menunjukkan kerapatan biobriket arang yang dihasilkan memiliki kerapatan antara 0,367 g/cm³ hingga 0,452 g/cm³ (Gambar 1). Berdasarkan hasil analisis data pada taraf signifikansi $\alpha = 0,05$, diketahui bahwa variasi komposisi bahan baku memberikan pengaruh yang sangat nyata terhadap nilai kerapatan biobriket ($P \leq 0,01$). Uji lanjut menggunakan Duncan's New Multiple Range Test (DNMRT) menunjukkan bahwa komposisi S25K75 dan S0K100 tidak berbeda nyata satu sama lain, namun keduanya berbeda signifikan dibandingkan dengan komposisi lainnya. Temuan ini mengindikasikan bahwa sebagian besar variasi komposisi memberikan pengaruh berbeda terhadap kerapatan, kecuali pada dua komposisi tersebut yang menunjukkan respons serupa.

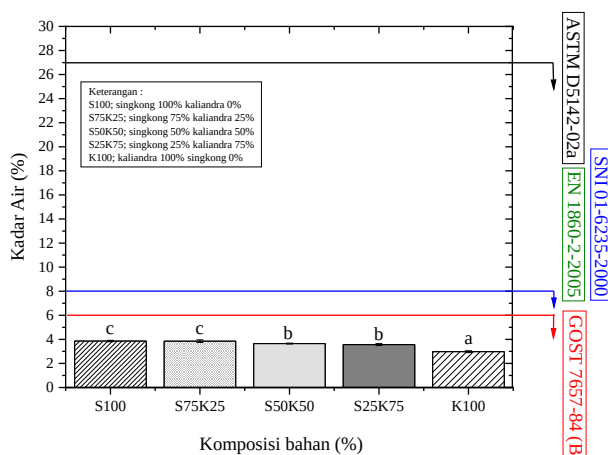


Gambar 1. Kerapatan biobriket arang dengan berbagai variasi komposisi; huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan yang nyata ($\alpha=0,05$)

Kerapatan briket arang dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti berat jenis bahan baku, tekanan saat proses pengepresan, kadar air dalam arang, jenis serta proporsi perekat yang digunakan, dan kondisi selama proses pirolisis berlangsung. [10] mengemukakan bahwa semakin besar berat jenis suatu bahan, maka semakin besar pula kerapatan briket arang yang dihasilkan. Briket dengan kerapatan tinggi cenderung memiliki rasio energi terhadap volume yang lebih efisien. Hal serupa juga disampaikan oleh [11] yang menyatakan bahwa peningkatan tekanan saat proses pencetakan akan berdampak langsung pada kenaikan kerapatan briket. Peningkatan ini terjadi karena tekanan tinggi mendorong terbentuknya gaya tarik antarmolekul dan ikatan antarpartikel yang saling mengunci, sebagaimana dijelaskan oleh [12].

3.2 Kadar Air

Kualitas briket arang sangat dipengaruhi oleh kadar air, karena kandungan air yang tinggi dapat menurunkan efisiensi pembakaran. Kadar air merupakan jumlah kandungan air dalam bahan, yang dinyatakan dalam persentase. Hasil analisis menunjukkan bahwa kadar air briket arang yang dihasilkan berada pada rentang 2,97% hingga 3,86%, dengan kadar air tertinggi ditemukan pada komposisi S100K0, sedangkan kadar air terendah terdapat pada komposisi S0K100 (Gambar 2). Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa variasi komposisi antara limbah batang singkong dan kayu kaliandra memberikan pengaruh yang sangat nyata terhadap kadar air briket ($P \leq 0,01$). Uji lanjut menggunakan DNMRT menunjukkan bahwa komposisi S100K0 dan S75K25 tidak berbeda nyata satu sama lain, sedangkan S50K50 memiliki pengaruh yang sama dengan S25K75. Komposisi K100 menunjukkan perbedaan yang signifikan dibandingkan dengan seluruh komposisi lainnya. Meskipun demikian, seluruh komposisi masih berada dalam batas standar kadar air sesuai SNI 01-6235-2000, GOST 7657-84, dan EN 1860-2-2005. Komposisi S100 yang memiliki kadar air tertinggi sebesar 3,86% masih tergolong memenuhi standar. Secara umum, biomassa memang cenderung memiliki kadar air dan zat terbang yang tinggi [13].

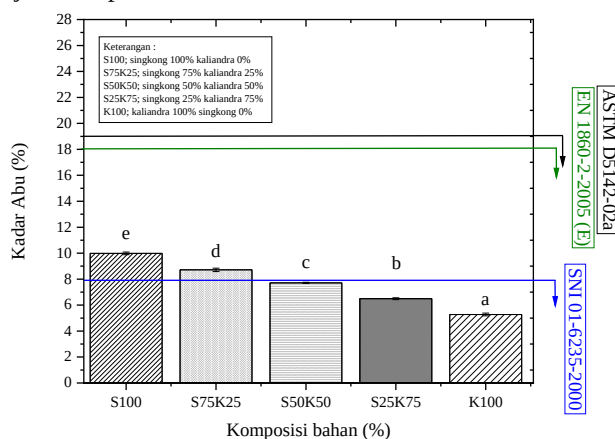


Gambar 2. Kadar Air biobriket arang dengan berbagai variasi komposisi; huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan yang nyata ($\alpha=0,05$)

Kadar air memiliki keterkaitan erat dengan nilai kerapatan briket arang, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. Semakin tinggi kerapatan briket, maka kadar air yang tersimpan di dalamnya cenderung lebih besar [14]. Rendahnya kadar air pada beberapa komposisi diduga disebabkan oleh ukuran partikel arang kayu kaliandra yang lebih besar, sehingga memungkinkan air lebih mudah menguap melalui celah antarpartikel saat proses pengujian. Kadar air dan kadar abu yang tinggi, sebagaimana terlihat pada Gambar 3, dapat memengaruhi performa pembakaran, yaitu menyebabkan briket sulit menyala, menghasilkan lebih banyak asap, dan menurunkan nilai kalor (Gambar 6) [15]. Hal ini disebabkan karena energi panas awal dari pembakaran harus digunakan terlebih dahulu untuk menguapkan air yang masih terperangkap di dalam briket sebelum menghasilkan panas yang efektif untuk proses pembakaran selanjutnya [15].

3.3 Kadar Abu

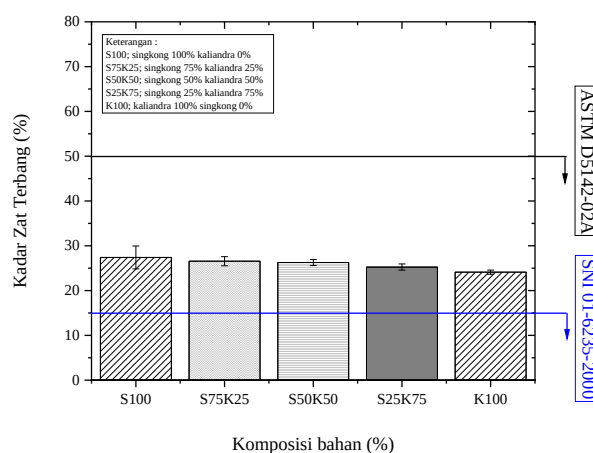
Kadar abu pada biobriket arang mencerminkan jumlah material anorganik yang tertinggal setelah proses pembakaran. Kadar abu yang tinggi menunjukkan bahwa masih terdapat residu mineral yang tidak terbakar sempurna selama proses pirolisis, yang dapat menurunkan efisiensi panas, meninggalkan banyak sisa pembakaran, serta menurunkan kualitas energi dari briket. Sebaliknya, kadar abu yang rendah menandakan bahwa proses pembakaran berjalan lebih efisien dengan residu minimal dan sedikit potensi polusi. Hasil analisis pada penelitian ini menunjukkan bahwa kadar abu briket arang berkisar antara 5,2% hingga 9,9% (Gambar 3). Komposisi S100 memiliki kadar abu tertinggi dibandingkan dengan komposisi lainnya, sedangkan kadar abu terendah terdapat pada komposisi K100. Berdasarkan hasil analisis sidik ragam dengan taraf signifikansi $\alpha = 0,05$, diketahui bahwa komposisi limbah batang singkong dan kayu kaliandra berpengaruh nyata terhadap kadar abu briket yang dihasilkan ($P \leq 0,01$). Hasil uji lanjut DNMRT menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antar beberapa komposisi, yang ditunjukkan oleh huruf berbeda pada grafik (Gambar 3). Secara keseluruhan, seluruh komposisi telah memenuhi standar kadar abu maksimum berdasarkan EN 1860-2-2005 ($<15\%$), namun hanya tiga komposisi yaitu B50K50, S25K75, dan K100 yang memenuhi standar SNI 01-6235-2000 dengan kadar abu $\leq 8\%$. Tingginya kadar abu pada beberapa komposisi diduga berasal dari kandungan mineral bahan baku yang tinggi atau adanya kontaminasi seperti pengotor dari luar, termasuk partikel seperti SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , dan CaO , yang dapat tertinggal dalam arang dan menjadi sisa pembakaran [16].



Gambar 3 Kadar Abu biobriket arang dengan berbagai variasi komposisi; huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan yang nyata ($\alpha=0,05$)

3.4 Kadar Zat Terbang

Kadar zat terbang merupakan salah satu parameter penting yang digunakan untuk mengukur seberapa besar potensi asap yang dihasilkan selama proses pembakaran. Semakin tinggi kadar zat terbang pada bahan, maka semakin banyak asap yang dihasilkan saat briket dinyalakan. Kandungan zat terbang ini umumnya dipengaruhi oleh senyawa-senyawa kimia yang mudah menguap seperti H_2 , CO_2 , CO , CH_4 , dan uap air, baik yang berasal dari bahan baku maupun dari bahan perekat. Kehadiran senyawa ini akan meningkatkan jumlah asap karena terjadinya reaksi antara karbon monoksida (CO) dengan turunan alkohol saat proses pembakaran [17]. [18] menyatakan bahwa zat terbang merupakan hasil dekomposisi dari senyawa penyusun bahan seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang akan dilepaskan ketika bahan dipanaskan. Hasil penelitian menunjukkan kadar zat terbang biobriket berkisar antara 24%–27% (Gambar 4), dengan nilai tertinggi pada komposisi S100 dan terendah pada komposisi K100. Hasil analisis sidik ragam pada taraf $\alpha = 0,05$ menunjukkan bahwa variasi komposisi antara limbah batang singkong dan kayu kaliandra tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap kadar zat terbang. Meskipun demikian, seluruh komposisi telah memenuhi standar ASTM D 5142-02A-2003 (kadar zat terbang 24–27%), namun belum memenuhi standar SNI 01-6235-2000 yang menetapkan kadar zat terbang maksimum $\leq 15\%$.

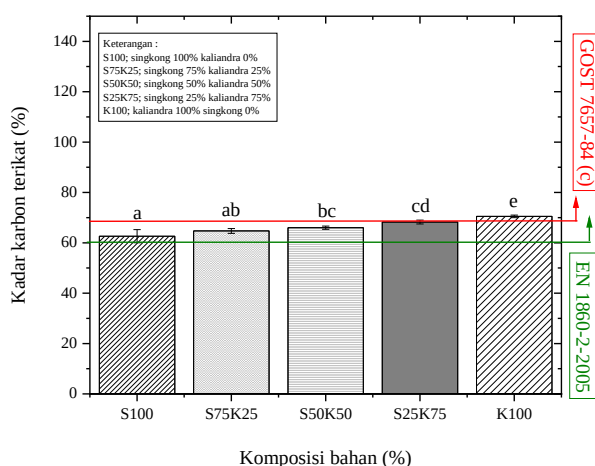


4
Gambar 4. Kadar Zat Terbang biobriket arang dengan berbagai variasi komposisi

Nilai zat terbang yang tinggi diduga disebabkan oleh kandungan perekat yang tidak mengalami karbonisasi secara sempurna sehingga menghasilkan gas volatil lebih tinggi dibandingkan arang itu sendiri [19]. Selain itu, tingginya kadar senyawa non-karbon seperti H_2 , CO , CO_2 , dan CH_4 akibat dekomposisi yang tidak sempurna juga berkontribusi terhadap tingginya nilai zat terbang, terutama karena hidrogen dalam bahan baku memiliki ikatan kuat dengan atom karbon [20]. Kandungan selulosa sebesar 39,29% dan hemiselulosa 24,34% pada batang singkong [5] juga menjadi salah satu faktor penyebab tingginya kadar zat terbang. Semakin tinggi nilai zat terbang, maka karbon terikat dan nilai kalor cenderung menurun, namun kandungan zat terbang dalam jumlah sedang juga dapat mempermudah proses penyalan karena sebagian besar berbentuk gas yang mudah terbakar [21].

3.5 Karbon Terikat

Karbon terikat merupakan kandungan karbon dalam briket arang yang tidak mudah menguap dan masih tersisa dalam bentuk padatan setelah senyawa volatil dan kadar air menghilang. Kandungan karbon terikat sangat penting karena berperan dalam menentukan besarnya nilai kalor pada briket. Semakin tinggi nilai karbon terikat, maka semakin tinggi pula energi panas yang dihasilkan saat proses pembakaran [22]. Hasil penelitian ini menunjukkan kadar karbon terikat briket arang berkisar antara 62% hingga 70% (Gambar 5), dengan nilai terendah ditemukan pada komposisi S100 dan nilai tertinggi pada K100. Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa komposisi campuran limbah batang singkong dengan kayu kaliandra memberikan pengaruh nyata terhadap kadar karbon terikat ($P \leq 0,01$), dan uji lanjut DNMRT (Lampiran 5) memperlihatkan bahwa semua komposisi memberikan perbedaan yang signifikan. Seluruh komposisi memenuhi standar EN 1860-2-2005 ($\geq 60\%$), namun hanya komposisi S25K75 dan K100 yang memenuhi standar GOST 7657-84 grade C ($\geq 67\%$) dengan nilai berturut-turut 68% dan 70%.

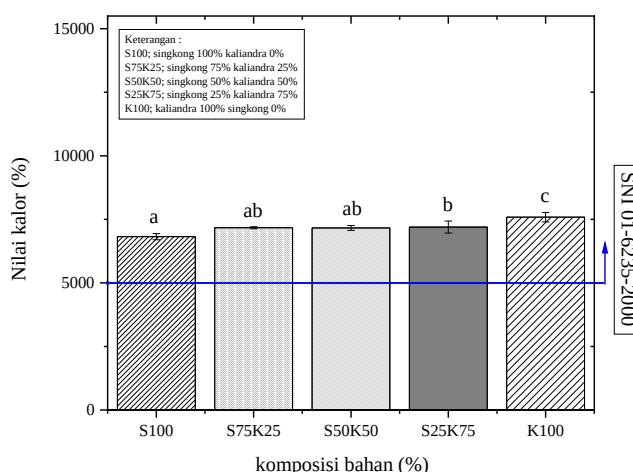


Gambar 5 Kadar Karbon Terikat biobriket arang dengan berbagai variasi komposisi; huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan yang nyata ($\alpha=0,05$)

Nilai karbon terikat sangat dipengaruhi oleh kadar abu dan kadar zat terbang. Semakin rendah kadar abu (Gambar 3) dan zat terbang (Gambar 4), maka kandungan karbon terikat cenderung meningkat. Kayu kaliandra memiliki karakteristik kadar abu dan zat terbang yang lebih rendah dibandingkan batang singkong, sehingga pencampuran keduanya mampu meningkatkan kadar karbon terikat dalam briket. Proses pirolisis juga berkontribusi dalam peningkatan nilai karbon terikat, karena selama pengarangan terjadi pelepasan unsur hidrogen dan oksigen dari bahan, sehingga residu padat yang tertinggal lebih kaya karbon [10]. Semakin tinggi kadar karbon terikat, maka semakin baik kualitas briket karena senyawa karbon tersebut akan terlibat dalam reaksi oksidasi yang menghasilkan panas. Oksidasi terjadi saat karbon dalam briket bereaksi dengan oksigen, menghasilkan energi panas yang diperlukan dalam proses pembakaran [23]. Oleh karena itu, peningkatan karbon terikat tidak hanya meningkatkan efisiensi pembakaran, tetapi juga berdampak langsung terhadap peningkatan nilai kalor (Gambar 6), sehingga memengaruhi mutu dan performa briket secara keseluruhan.

3.6 Nilai Kalor

Nilai kalor merupakan salah satu parameter utama dalam menentukan kualitas briket arang sebagai bahan bakar padat. Semakin tinggi nilai kalor suatu briket, maka semakin besar pula energi panas yang dihasilkan dan semakin tinggi efisiensinya saat digunakan. Berdasarkan hasil penelitian, nilai kalor biobriket arang yang dihasilkan berada dalam rentang 7856,01 – 7978,48 kal/g (Gambar 6). Seluruh komposisi memenuhi standar SNI 01-6235-2000 yang mensyaratkan nilai kalor minimum 5000 kal/g, sehingga biobriket yang dihasilkan dalam penelitian ini dapat dikategorikan berkualitas baik. Komposisi K100 tercatat memiliki nilai kalor tertinggi, sedangkan komposisi S100 memiliki nilai yang lebih rendah (Gambar 6).



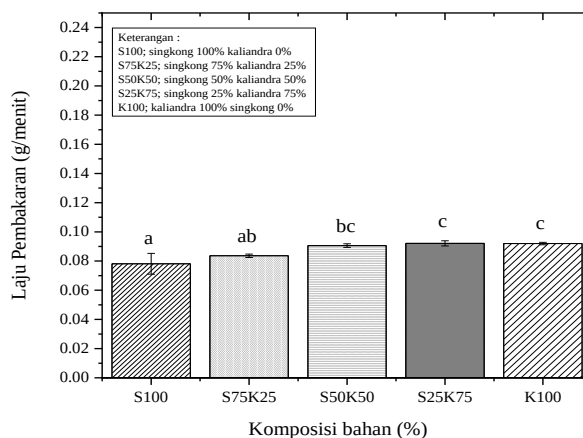
Gambar 6 Nilai Kalor biobriket arang dengan berbagai variasi komposisi; huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan yang nyata ($\alpha=0,05$)

Peningkatan nilai kalor pada komposisi yang mengandung kayu kaliandra diduga disebabkan oleh tingginya kandungan lignin dalam kayu tersebut, yakni sebesar 20–23% dibandingkan dengan lignin pada limbah batang singkong yang hanya sebesar 13,42% [5]. Lignin diketahui memiliki kandungan karbon yang tinggi dan memberikan kontribusi signifikan terhadap nilai kalor. Selain lignin, nilai kalor juga dipengaruhi oleh sejumlah parameter lain seperti kerapatan,

kadar air, kadar abu, zat terbang, dan kadar karbon terikat. Nilai kalor cenderung meningkat pada briket dengan kerapatan tinggi serta kadar air dan abu yang rendah [24]. Hal ini karena energi panas tidak banyak terbuang untuk menguapkan air dan mengatasi residu anorganik, sehingga dapat dimanfaatkan lebih optimal dalam proses pembakaran. Dalam penelitian ini, tren peningkatan nilai kalor sejalan dengan penurunan kadar air (Gambar 2) dan kadar abu (Gambar 3), serta peningkatan karbon terikat (Gambar 5), yang menunjukkan adanya hubungan positif antar parameter. Briket dengan kandungan karbon terikat tinggi mampu menghasilkan panas lebih besar karena karbon akan terlibat langsung dalam reaksi oksidasi yang melepaskan energi. Oleh karena itu, komposisi dengan proporsi kayu kaliandra lebih dominan terbukti memberikan kontribusi positif terhadap peningkatan nilai kalor dan mutu keseluruhan briket arang yang dihasilkan.

3.7 Laju Pembakaran

Laju pembakaran merupakan parameter penting dalam menilai karakteristik biobriket terhadap kecepatan pembakaran hingga bahan habis terbakar. Semakin besar nilai laju pembakaran, maka semakin cepat briket menyala dan habis terbakar. Sebaliknya, nilai laju pembakaran yang rendah menunjukkan bahwa briket memiliki waktu bakar yang lebih lama, yang secara umum menjadi indikator kualitas pembakaran yang baik.



Gambar 7. Laju Pembakaran biobriket arang dengan berbagai variasi komposisi; huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan yang nyata ($\alpha=0,05$)

Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju pembakaran briket arang berada pada kisaran 0,078 – 0,092 g/menit, dengan komposisi S100 memiliki nilai laju pembakaran paling rendah (Gambar 7). Hasil analisis sidik ragam pada taraf signifikansi $\alpha = 0,05$ menunjukkan bahwa variasi komposisi campuran limbah batang singkong dan kayu kaliandra memberikan pengaruh nyata ($P \leq 0,05$) terhadap nilai laju pembakaran. Uji lanjut DNMRT menunjukkan bahwa komposisi S25K75 tidak berbeda nyata dengan K100, sementara komposisi lainnya menunjukkan perbedaan signifikan terhadap nilai laju pembakaran.

Nilai laju pembakaran yang diperoleh dalam penelitian ini termasuk dalam kategori baik jika dibandingkan dengan hasil penelitian [25] yang melaporkan nilai laju pembakaran sebesar 0,66 g/menit. Rendahnya laju pembakaran pada biobriket campuran ini diduga berkaitan erat dengan kerapatan briket. Briket dengan kerapatan tinggi (Gambar 1) memiliki struktur partikel yang lebih padat sehingga memperlambat difusi oksigen ke dalam pori-pori briket, yang berdampak pada lambatnya proses pembakaran [26]. Selain itu, tingginya kadar zat terbang (Gambar 4) turut memudahkan proses penyalaan briket karena senyawa volatil seperti CH_4 , CO , dan H_2 mudah terbakar. Namun demikian, jika briket memiliki laju pembakaran yang lebih rendah, maka hal ini menunjukkan waktu bakar yang lebih lama, sehingga lebih efisien sebagai bahan bakar padat untuk kebutuhan jangka waktu tertentu. Oleh karena itu, briket dengan laju pembakaran yang relatif rendah dianggap memiliki karakteristik pembakaran yang baik.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil karakterisasi, pencampuran limbah batang singkong dan kayu kaliandra terbukti mampu memperbaiki mutu biobriket arang secara signifikan. Penambahan limbah batang singkong memberikan kontribusi terhadap peningkatan kerapatan dan laju pembakaran, meskipun kadar zat terbang yang dihasilkan masih relatif tinggi dan belum memenuhi standar SNI 01-6235-2000. Komposisi terbaik diperoleh pada rasio 50:50 (S50K50), yang menghasilkan biobriket dengan karakteristik fisik dan kimia yang paling seimbang. Komposisi ini memenuhi standar mutu nasional dan internasional, yaitu SNI 01-6235-2000, EN 1860-2-2005, dan ASTM D 5142-02a-2003, meskipun belum memenuhi kriteria standar GOST 7657-84. Selain menghasilkan performa pembakaran yang optimal, komposisi ini juga menunjukkan potensi tinggi dalam meningkatkan nilai tambah limbah batang singkong sebagai bahan bakar biomassa alternatif yang ramah lingkungan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Institut Teknologi Sumatera atas berbagai dukungan yang telah diberikan untuk kelancaran pelaksanaan penelitian ini

REFERENCES

- [1] T. PPPPTK and B. M. dan T. Industri, "Konversi Energi Biomassa," p. 211, 2015.
- [2] L. Parinduri and T. Parinduri, "Konversi Biomassa Sebagai Sumber Energi Terbarukan," *J. Electr. Technol.*, vol. 5, no. 2, pp. 88–92, 2020, [Online]. Available: <https://www.dosenpendidikan>.
- [3] N. A. Pambudi *et al.*, "Renewable Energy in Indonesia: Current Status, Potential, and Future Development," *Sustain.*, vol. 15, no. 3, 2023, doi: 10.3390/su15032342.
- [4] B. Irawan and D. H. Prajitno, "Analisa Karakteristik Kayu Singkong Gajah (*Manihot esculenta crantz*) Sebagai Bahan Baku Pulp," *J. Tek. Mesin dan Ind.*, vol. 2, no. 1, pp. 57–63, 2023, doi: 10.55331/jutmi.v2i1.29.
- [5] L. Lismeri, P. M. Zari, T. Novarani, and Y. Darni, "Sintesis Selulosa Asetat dari Limbah Batang Ubi Kayu," *J. Rekayasa Kim. Lingkungan.*, vol. 11, no. 2, pp. 82–91, 2016, doi: 10.23955/rkl.v11i2.5407.
- [6] Dianursanti, B. T. Rizkytata, M. T. Gumelar, and T. H. Abdullah, "Industrial tofu wastewater as a cultivation medium of microalgae *Chlorella vulgaris*," *Energy Procedia*, vol. 47, pp. 56–61, 2014, doi: 10.1016/j.egypro.2014.01.196.
- [7] R. Salim, "Karakteristik dan Mutu Arang Kayu Jati (*Tectona grandis*) dengan Sistem Pengarangan Campuran pada Metode Tungku Drum (The Quality and Characteristics of Teak (*Tectona grandis*) Charcoal Made by Mixed Carbonisation in Drum Kiln)," *J. Ris. Ind. Has. Hutan*, vol. 8, no. 2, pp. 53–64, 2016, doi: 10.24111/jrihh.v8i2.2113.
- [8] C. Oktaviananda, R. F. Rahmawati, A. Prasetya, C. W. Purnomo, A. T. Yuliansyah, and R. B. Cahyono, "Effect of temperature and biomass-water ratio to yield and product characteristics of hydrothermal treatment of biomass," *AIP Conf. Proc.*, vol. 1823, no. April 2019, 2017, doi: 10.1063/1.4978102.
- [9] W. Pradana and A. Bunyamin, "Pemanfaatan Kayu Kaliandra Dan Limbah Teh Sebagai Bahan Baku Biobriket," *J. Teknol. Pertan. Andalas*, vol. 25, no. 1, p. 114, 2021, doi: 10.25077/jtpa.25.1.46-51.2021.
- [10] R. Rindayatno and D. O. Lewar, "KUALITAS BRIKET ARANG BERDASARKAN KOMPOSISI CAMPURAN ARANG KAYU ULIN (*Eusideroxylon zwageri* Teijsm & Binn) DAN KAYU SENGON (*Paraserianthes falcata*)," *ULIN J. Hutan Trop.*, vol. 1, no. 1, pp. 39–48, 2017, doi: 10.32522/ujht.v1i1.792.
- [11] M. A. Aljarwi, D. Pangga, and S. Ahzan, "Uji Laju Pembakaran Dan Nilai Kalor Briket Wafer Sekam Padi Dengan Variasi Tekanan," *ORBITA J. Kajian, Inov. dan Apl. Pendidik. Fis.*, vol. 6, no. 2, p. 200, 2020, doi: 10.31764/orbita.v6i2.2645.
- [12] S. Ahmed, M. M. Rahman, M. A. Islam, M. Mashud, M. N. A. Moral, and Rural, "Role of Biomass Briquetting in the Renewable Energy Sector and Poverty Diminution for Bangladesh," *BSME-ASME Int. Conf. Therm. Eng. 27-29 December, 20086, Dhaka, Bangladesh* "ROLE", vol. 4th, no. March, pp. 1–10, 2015, [Online]. Available: www.elsevier.com/locate/fuproc
- [13] J. Sui, X. Xu, B. Zhang, C. Huang, and J. Lv, "A Mathematical Model of Biomass Briquette Fuel Combustion," *Energy Power Eng.*, vol. 05, no. 04, pp. 1–5, 2013, doi: 10.4236/epe.2013.54b001.
- [14] R. W. A. Jaswella, S. Sudding, and R. Ramdani, "Pengaruh Ukuran Partikel terhadap Kualitas Briket Arang Tempurung Kelapa," *Chem. J. Ilm. Kim. dan Pendidik. Kim.*, vol. 23, no. 1, p. 7, 2022, doi: 10.35580/chemica.v23i1.33903.
- [15] H. A. Ajmotokan, 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," *Sci. African*, vol. 6, 2019, doi: 10.1016/j.sciaf.2019.e00202.
- [16] Y. Ristianingsih, A. Ulfa, and R. Syafitri K.S, "Pengaruh Suhu Dan Konsentrasi Perekat Terhadap Karakteristik Briket Bioarang Berbahan Baku Tandan Kosong Kelapa Sawit Dengan Proses Pirolisis," *Konversi*, vol. 4, no. 2, p. 16, 2015, doi: 10.20527/k.v4i2.266.
- [17] S. Maryono and Rahmawati, "Pembuatan dan Analisis Mutu Briket Arang Tempurung Kelapa Ditinjau dari Kadar Kanji Preparation and Quality Analysis of Coconut Shell Charcoal Briquette Observed by Starch Concentration," *J. Chem.* 74-83, vol. 14, pp. 74–83, 2013.
- [18] N. Afrianah *et al.*, "Pengaruh Temperatur Karbonisasi Terhadap Karakteristik Briket Berbasis Arang Sekam Padi Dan Tempurung Kelapa," *JFT J. Fis. dan Ter.*, vol. 9, no. 2, pp. 138–147, 2023, doi: 10.24252/jft.v9i2.25566.
- [19] N. Aklis, A. Dwi, and A. Darmawan, "The Influence of the Type of Adhesive on the Properties of Sawdust Briquettes," *Int. J. Emerg. Trends Eng. Res.*, vol. 8, no. 9, pp. 5353–5356, 2020, doi: 10.30534/ijeter/2020/73892020.
- [20] A. P, A. Z. Syaiful, and T. M, "Pembuatan Briket Arang Dari Tempurung Kelapa Dengan Metode Pirolisis," *Saintis*, vol. 1, no. 2, pp. 43–48, 2020.
- [21] M. H. Furqan, E. Elfiana, and Z. Amalia, "Pemanfaatan Limbah Kulit Kopi dan Tempurung Kelapa menjadi Briket Biomassa," *J. Teknol.*, vol. 25, no. 1, p. 15, 2025, doi: 10.30811/teknologi.v25i1.6282.
- [22] Kahariyadi.A, Setyawati.D, Diba.F, and Roslinda.E, "Kualitas Briket Arang Berdasarkan Persentase Arang Batang Kelapa Sawit dan Arang Kayu Laban," *J. Hutan Lestari*, vol. 3, no. 4, pp. 561–568, 2015.
- [23] M. R. Adipratama, R. Setiawan, and N. Fauji, "Hasil Pengujian Proksimasi Dan Gas Buang Pada Briket Campuran Limbah Serutan Kayu, Sekam Padi Dan Bulu Ayam," *J. Tek. Mesin*, vol. 14, no. 1, pp. 33–39, Jun. 2021, doi: 10.30630/jtm.14.1.489.
- [24] R. Hasibuan and H. M. Pardede, "Pengaruh Suhu dan Waktu Pirolisis terhadap Karakteristik Arang dari Tempurung Kelapa," *J. Tek. Kim. USU*, vol. 12, no. 1, pp. 46–53, 2023, doi: 10.32734/jtk.v12i1.8534.
- [25] J. Ilham, Y. Mohamad, and I. Oktaviani, "Pengujian Biobriket Dari Limbah Kayu Sebagai Sumber Energi Alternatif," *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 4, no. 2, pp. 119–125, 2022, doi: 10.37905/jjee.v4i2.12347.
- [26] S. F. Ramadhani, M. J. Utama, and A. Ariani, "Pembuatan Biobriket Dari Limbah Kopi Dan Sekam Padi Sebagai Bahan Bakar Alternatif," *DISTILAT J. Teknol. Separasi*, vol. 7, no. 2, pp. 210–217, 2023, doi: 10.33795/distilat.v7i2.224.