

PENGARUH VARIASI PERBANDINGAN BATUBARA DAN CANGKANG KELAPA SAWIT TERHADAP KUALITAS BIOBRIKET

Andi Arninda^{a,*}, Nur Aflan Farah Saqina^{a,}, Flaviana Yohanala Prista Tyassena^a**

^aProgram Studi Teknik Kimia Mineral, Politeknik ATI Makassar

Jl. Sunu No. 220, Kota Makassar, 90211, Indonesia

*E-mail: arninda@atim.ac.id

**E-mail: nuraflanfarah@icloud.com

Masuk Tanggal: 13 November 2024, revisi tanggal: 25 November 2024, diterima untuk diterbitkan tanggal : 31 Desember 2024

Abstrak

Biobriket merupakan salah satu sumber energi alternatif yang berbentuk padat dan dihasilkan dari campuran biomassa dan digunakan sebagai sumber energi alternatif. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengkaji kualitas biobriket yang dibuat dengan memvariasikan batu bara dan cangkang kelapa sawit. Proses pembuatan meliputi pengarang cangkang kelapa sawit, pencampuran dengan batu bara dan perekat sago 2%, serta pencetakan biobriket. Pengujian dilakukan untuk mengetahui kualitas batu bara meliputi kadar air, kadar abu, kadar zat terbang, dan nilai kalor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kalor tertinggi sebesar 5894,28 kal/g, kadar air terendah 2,69% diperoleh pada biobriket yang terdiri dari 100% batu bara, sementara kadar abu terendah 8,96% ditemukan pada perbandingan 60% batubara:40% cangkang sawit. Namun, kadar zat terbang dari semua variasi komposisi masih melebihi standar yang ditetapkan. Variasi komposisi bahan terbukti memiliki pengaruh signifikan terhadap kualitas biobriket.

Kata Kunci: Biobriket, Cangkang kelapa sawit, Batu bara

Abstract

Bio-briquettes are a type of alternative energy source in solid form, produced from a mixture of biomass and used as an alternative energy source. The purpose of this study is to evaluate the quality of bio-briquettes produced by varying coal and palm kernel shells. The production process involves carbonising the palm kernel shells, mixing them with coal and 2% sago glue, and forming the bio-briquettes. Quality tests were carried out to assess the properties of the briquettes, including moisture content, ash content, volatile matter content and calorific value. The results showed that the highest calorific value of 5,894.28 cal/g and the lowest moisture content of 2.69% were obtained from bio-briquettes made from 100% coal. Meanwhile, the lowest ash content of 8.96% was found in the composition of 60% coal:40% palm kernel shells. However, the volatile matter content of all composition variations exceeded the established standards. The composition variations significantly influenced the quality of the bio-briquettes.

Keywords: Biobriquettes, Palm oil shells, Coal

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi yang terus meningkat, terutama disektor industri dan rumah tangga, selama ini masih banyak menggunakan bahan bakar dari fosil seperti minyak bumi, gas alam dan batu bara. Ketersediaan bahan bakar fosil semakin hari semakin menipis, untuk itu perlu dicari energi alternatif pengganti bahan bakar fosil ke bahan bakar terbarukan serta ramah lingkungan, sehingga nantinya dapat

memperkuat ketahanan energi secara global dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan sekaligus memperkuat ketahanan energi secara global [1].

Selama ini cadangan bahan bakar fosil telah menjadi sumber energi di Indonesia telah mengalami penurunan. Menurut prediksi dari Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi energi yang terdapat di Indonesia pasca tahun 2030 sangat memprihatinkan, dimana

ketersediaan bahan bakar fosil dalam bentuk batu bara diperkirakan hanya cukup untuk 20 tahun ke depan, dan kandungan minyak bumi akan terus mengalami penurunan hingga 650 juta setara barel minyak (SBM), sehingga pemenuhan sumber energi fosil hanya dapat ditutupi melalui impor. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral mencatat kandungan minyak di Indonesia tersisa hanya 9 miliar barel, dan tanpa cadangan kandungan minyak baru, maka kandungan minyak akan habis jika terus menerus dikonsumsi. Hal ini akan berdampak pada perekonomian di Indonesia yang akan mengalami masalah khususnya pada sektor industri yang mengandalkan bahan bakar fosil sebagai sumber energi. Untuk mengurangi konsumsi bahan bakar fosil, energi alternatif terus dikembangkan. Beberapa jenis energi alternatif seperti energi panas bumi, angin, matahari, dan biomassa sangat potensial untuk dikembangkan [2]

Biomassa sebagai salah satu energi alternatif yang dapat dikembangkan, karena berasal dari bahan organik atau dapat sisa hasil pengolahan yang merupakan limbah dengan nilai ekonomis rendah [3]. Ketersediaan biomassa di Indonesia sangat melimpah karena dapat berupa sisa hasil pertanian dan perkebunan, sisa dari kegiatan industri, ataupun berasal dari makhluk hidup. Zentrum for Rationale Energianwendung und Umwelt (ZREU) salah satu lembaga riset yang berada di Jerman mengemukakan besarnya potensi dari biomassa di Indonesia yang mencapai 146,7 juta ton per tahun. Tingginya potensi biomassa tersebut dapat digunakan sebagai modal utama dalam mengembangkan energi alternatif sebagai bahan bakar berbentuk padat atau biobriket [4].

Biobriket yang dibuat dari biomassa diketahui dapat menghasilkan kalor lebih dari 4000 kalori untuk setiap gramnya, sehingga memungkinkan untuk dijadikan sebagai sumber energi alternatif. Pembuatan biobriket dengan menggunakan biomassa telah banyak dilakukan. Biomassa yang digunakan antara lain arang tempurung kelapa, serbuk gergaji, kayu, tongkol jagung, sekam padi, cangkang kelapa sawit, maupun dari limbah pertanian dan perkebunan [4] [5][6].

Cangkang kelapa sawit merupakan salah satu biomassa yang banyak ditemukan dan tersedia. Ketersediaan biomassa ini terbilang cukup melimpah di Indonesia, yang memiliki wilayah perkebunan sawit yang cukup luas. Data Direktorat Jenderal Perkebunan mencatat jika area tanaman perkebunan kelapa sawit pada tahun 2023 mencapai 16,83 juta hektar [7]. Pengolahan kelapa sawit tidak hanya menghasilkan minyak mentah (CPO), tetapi juga

menghasilkan limbah dalam jumlah besar. Setiap ton kelapa sawit yang diolah dapat menghasilkan sekitar 23% tandan kosong, 6,5% cangkang, 4% lumpur sawit, 13% serabut, dan 50% limbah cair [8]. Tandan kosong dan cangkang kelapa sawit masih memiliki kandungan selulosa, lignin, hemiselulosa. Kandungan lignoselulosa mengidentifikasi tingginya kadar karbon, sehingga memungkinkan tandan dan cangkang kelapa sawit diolah menjadi arang untuk pembuatan biobriket. Di samping itu cangkang kelapa sawit memiliki nilai kalor yang tinggi dibandingkan tandan kosong dan serabut, yaitu sebesar 5.656 kalori/gram [5].

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Rasmawan (2009) dalam [9], cangkang kelapa sawit memiliki nilai kalori sebesar 4300 kal/gram, dengan kadar air 7,8 %, abu 2,2 %, *volatile matter* 69,5 %, dan karbon aktif 20,5%.. Penelitian tentang biobriket dengan menggunakan cangkang kelapa sawit juga telah banyak dilakukan, bukan hanya menggunakan cangkang kelapa sawit sendiri, tetapi juga dengan menggunakan bahan tambahan lain. Arbi dan Irsyad (2018) melakukan studi mengenai briket arang sebagai bahan bakar alternatif dari limbah cangkang kelapa sawit; Bani, dkk (2018) meneliti pengaruh komposisi bahan baku serta ukuran pelepah dan cangkang kelapa sawit dalam pembuatan biobriket; Putra dan Hidayat (2022) mengkaji daun belimbing wuluh sebagai perekat dalam pembuatan briket dari cangkang kelapa sawit; Harmiansyah, dkk (2023) meneliti karakteristik arang dari cangkang kelapa sawit untuk keperluan pembuatan biobriket; sedangkan Milya, dkk (2023) melakukan penelitian mengenai penggunaan tepung tapioka dan tepung beras sebagai perekat pada pembuatan briket dari cangkang kelapa sawit; Zulfa, dkk (2024) juga melakukan penelitian mengenai penggunaan perekat tepung sagu dan apus pada pembuatan biobriket dengan menggunakan campuran cangkang kelapa sawit dan serbuk kayu gergaji.

Biobriket yang terbuat dari biomassa umumnya berbentuk padat [10]. Dalam proses pembuatannya, biomassa dicampur dengan perekat dan bahan tambahan lainnya untuk meningkatkan efektivitasnya dalam pembakaran. Biobriket dengan kualitas yang baik harus memenuhi standar kualitas tertentu [11].

Biobriket dapat dimanfaatkan sebagai pengganti minyak bumi dan sumber energi fosil lainnya[4]. Biobriket ini memiliki banyak kelebihan antara lain harga lebih murah, memiliki panas yang lebih tinggi, ramah lingkungan, tidak berbau, dapat mengurangi emisi karbon, tahan lama, bahan baku untuk

pembuatannya melimpah, dan dengan proses pengemasan yang baik akan menambah nilai ekonomisnya [12] [6].

Pembuatan biobriket termasuk mudah untuk dilakukan, dimana proses pembuatannya dimulai dengan proses karbonasi/pengarangan biomassa, kemudian dilakukan penambahan bahan pengikat (*binder*) atau tanpa bahan pengikat, lalu dicetak dengan menggunakan tekanan tertentu. Biobriket yang telah dicetak sering juga disebut briket arang. Biobriket dapat dibuat dalam berbagai variasi bentuk dan massa. Bentuk umum dari biobriket adalah kubus, persegi dan silinder. Sedangkan massa biobriket berkisar antara 20 – 100 gram. Ukuran dan massa disesuaikan dengan segmen pasar guna memperoleh nilai ekonomis, teknis dan lingkungan yang optimal [13]. Adapun standar kualitas nilai biobriket masih mengacu pada standar briket arang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Standar kualitas nilai briket arang

Sifat Briket	Jepang	Inggris	Amerika	SNI
Kadar air %	6-8	3,6	6,2	8
Volatile matter%	15-30	16,4	19-28	15
Kadar abu %	3-6	5,9	8,3	8
Nilai kalor (cal/g)	6000-7000	7289	6230	5000

Sumber : [5][13]

Untuk meningkatkan kualitas biobriket tersebut dapat memanfaatkan batu bara yang dicampurkan dengan cangkang kelapa sawit dalam pembuatan biobriket tersebut, sehingga dapat memenuhi Standar Nasional Indonesia biobriket/briket.

Batubara merupakan salah satu bahan bakar fosil, mudah terbakar, dimana proses pembentukannya berasal dari endapan organik (dedaunan dan batang pohon) dan unsur anorganik dan mineral, dan prosesnya diawali dengan pembatubaraan atau amalgamasi, dan tersusun dari unsur karbon, hidrogen dan oksigen [14][15].

Batubara merupakan lapisan padat, dimana pembentukan dan penyebarannya bisa berbentuk horizontal ataupun vertikal, dan setiap lapisan batu bara merupakan lapisan yang homogen dengan kualitas batu bara yang berbeda-beda [16].

Batubara dengan kadar karbon rendah biasanya termasuk jenis lignit atau sub-bituminus. Jenis ini memiliki sifat lunak dan rapuh, kandungan karbon yang rendah, warna kusam, kadar air tinggi, dan energi yang dihasilkan relatif kecil. Semakin baik kualitas batu bara, materialnya menjadi lebih padat dan keras, kandungan karbonnya meningkat, warnanya lebih cerah, kadar airnya menurun, dan energi yang dihasilkan lebih besar [17].

Berbagai penelitian sebelumnya telah mengungkapkan bahwa biomassa, seperti tandan kosong kelapa sawit, dapat dimanfaatkan sebagai bahan campuran dengan batu bara untuk menghasilkan bahan bakar alternatif dengan karakteristik yang lebih unggul, seperti peningkatan nilai kalor [18].

Namun, penelitian yang secara khusus meneliti pengaruh perbandingan antara cangkang kelapa sawit dan batu bara terhadap kualitas biobriket masih terbatas.

2. PROSEDUR PERCOBAAN

Tahapan dalam penelitian ini yaitu proses pembuatan biobriket dan pengujian biobriket.

2.1. Pembuatan Biobriket

Proses pembuatan biobriket dimulai dengan tahap persiapan cangkang kelapa sawit. Cangkang tersebut dibersihkan dari kotoran, kemudian dijemur di bawah sinar matahari selama 24 jam atau lebih, tergantung pada intensitas panas matahari (jika panas matahari sangat terik proses penjemuran bisa kurang dari waktu tersebut). Cangkang kelapa sawit kemudian diarangkan di atas kompor, kemudian dihaluskan dengan menggunakan alat *ballmill* kemudian di ayak menggunakan alat *sieve shaker* dengan ukuran sampel mencapai 80 mesh.

Arang dengan ukuran 80 mesh kemudian dicampurkan dengan batu bara jenis sub bituminus dengan berat 20 gram dengan berbagai variasi. Kemudian dilakukan penambahan larutan sugu 2% ke dalam campuran dan diaduk hingga merata, pada masing-masing variasi, setelah itu dilakukan pencetakan pada masing-masing variasi. Biobriket yang telah dicetak kemudian dilakukan pengujian kualitas biobriket.

2.2. Uji Kualitas Biobriket

Pengujian kualitas biobriket dilakukan yang dilakukan yaitu :

a. Analisa Kalori

Pengujian nilai kalor dilakukan menggunakan alat *oxygen bomb calorimeter* sesuai dengan metode ASTM D 5865-01. Sampel biobriket ditimbang sebanyak 1,000 gram kemudian dimasukkan ke dalam alat *bomb calorimeter parr 6200*. Sebelum sampel dimasukkan terlebih dahulu gas oksigen pada alat *bomb calorimeter parr 6200* dinyalakan dan diatur, kemudian dinyalakan saklar di bagian belakang instrumen, dinyalakan *balance* dengan menekan tombol power. Sampel dimasukkan ke dalam alat *bomb calorimeter* dan ditunggu

alat bekerja hingga mengeluarkan hasil nilai kalor.

b. Analisa Kadar Air

Pengujian kadar air dilakukan menggunakan metode ASTM D 1762-84 dengan bantuan oven. Pengukuran kadar air dilakukan berdasarkan berat sampel basah. Sampel biobriket seberat kurang lebih 1 gram ditimbang, kemudian dimasukkan ke dalam oven MFS CARBOLITE 1156-12 pada suhu 105°C selama 2 jam. Setelah itu, sampel didinginkan dan ditimbang untuk mengetahui beratnya setelah pemanasan. Proses pemanasan dapat diulang hingga diperoleh bobot tetap. Kadar air dihitung dengan rumus :

$$\text{Kadar air} = \frac{a-b}{a} \times 100\%$$

(1)

Keterangan :

a = berat biobriket sebelum pengeringan (gram);

b = berat biobriket setelah pengeringan dan didapat bobot tetap (gram)

c. Analisa Kadar Abu

Kadar abu diuji dengan menggunakan metode ASTM F = D 1762-84. Pengujian dilakukan minimal tiga kali atau hingga diperoleh berat yang stabil. Sampel biobriket ditimbang sebanyak 1 gram, kemudian diabukan selama 2 jam dalam furnace CARBOLITE GERO dengan suhu pembakaran 750-800°C. Setelah pembakaran selesai, sampel didiamkan hingga dingin, lalu ditimbang untuk mengetahui bobot setelah pengabuan

Setelah pembakaran selesai, sampel didiamkan hingga dingin, lalu ditimbang untuk mengetahui bobot setelah pengabuan.

Kadar abu dihitung dengan rumus :

$$\text{Kadar abu} = \frac{b-a}{c} \times 100\%$$

(2)

Keterangan :

a = berat cawan kosong (gram);

b = berat cawan dan abu (gram);

c = berat cawan dan biobriket (gram)

d. Analisa Zat Terbang

Untuk menghitung kandungan zat terbang dalam biobriket, prosedur yang digunakan mengacu pada ISO 562-1981. Sampel biobriket ditimbang sebanyak 1 gram, kemudian dibakar selama 7 menit dalam furnace CARBOLITE AAF 1100 pada suhu 950°C. Setelah proses pembakaran selesai, sampel didinginkan, kemudian ditimbang kembali untuk mendapatkan berat sampel

setelah penghilangan zat terbang. Kadar zat terbang dihitung dengan rumus :

$$\text{Kadar zat terbang} = \frac{M2-M3}{M2-M1} \times 100\%$$

(3)

Keterangan :

M1 = bobot cawan kosong (gram);

M2 = bobot awal cawan + biobriket (gram);

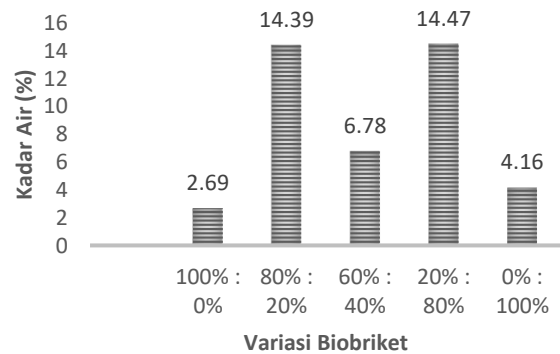
M3 = bobot akhir cawan + biobriket (gram)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kualitas biobriket dengan beberapa variasi pencampuran antara cangkang kelapa sawit dan batu bara jenis sub bituminus.

3.1 Analisa kadar air

Kadar air dapat diartikan sebagai sejumlah air yang masih terdapat dalam biobriket setelah proses pengeringan.



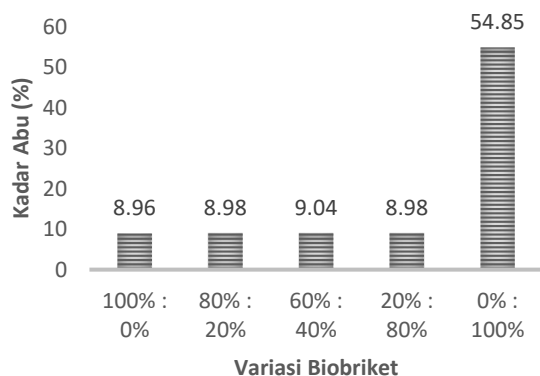
Gambar 1. Grafik kadar air dalam biobriket

Pada Gambar 1, terlihat bahwa nilai kadar air pada biobriket pada variasi 100% : 0%, 60% : 40% dan 0%:100% memiliki nilai yang telah sesuai dengan kadar air yang dipersyaratkan SNI yaitu maksimal 8%, sedangkan pada variasi 80%:20% dan 20%:80% tidak memenuhi nilai yang dipersyaratkan dalam SNI. Tingginya nilai kadar air tersebut disebabkan pada proses pencampuran dengan bahan perekat yang terlalu encer, sehingga kadar air juga meningkat. Di samping itu waktu pengeringan yang sebentar pada biobriket yang diperoleh juga mengakibatkan kenaikan kadar air dalam biobriket. Hal ini juga sejalan dengan penelitian [19]. Menurut Sudrajat (1983) dalam [19] kadar air dalam biobriket mempengaruhi nilai kalor, di mana semakin tinggi kadar air, semakin menurun kualitas biobriket tersebut. Kadar air yang tinggi juga dapat membuat biobriket sulit untuk dinyalakan.

3.2 Analisa kadar abu

Kadar abu dianalisis untuk mengetahui apakah sampel masih memiliki unsur karbon

yang tersisa dari pembakaran yang sudah dilakukan.

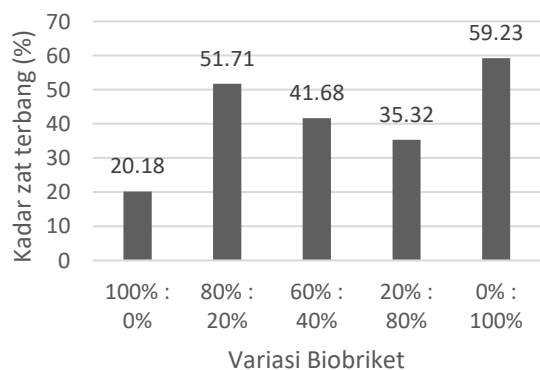


Gambar 2. Grafik kadar abu dalam biobriket

Pada gambar 2 terlihat bahwa nilai kadar abu dari semua variasi biobriket tidak ada yang memenuhi SNI, yaitu maksimal 8%. Dari keseluruhan nilai kadar abu pada variasi yang telah dibuat, tidak ada dari variasi tersebut yang memenuhi nilai kadar abu sesuai SNI. Kadar abu tertinggi diperoleh pada variasi 0%:100%, dimana pada variasi ini biobriket yang dibuat berasal dari cangkang kelapa sawit tanpa penambahan batu bara. Tingginya kadar abu pada variasi biobriket ini disebabkan kandungan abu dan mineral yang tinggi antara lain silika (SiO_2), MgO dan Fe_2O_3 , AlF_3 , MgF_2 dan Fe [18]. Cangkang kelapa sawit juga termasuk biomassa yang dapat terbakar dan menghasilkan abu lebih banyak, serta mengandung zat anorganik yang terkandung didalamnya [13] [20].

3.3 Analisa kadar zat terbang

Zat yang menguap atau *volatile matter* adalah senyawa organik dan anorganik yang terlepas ke luar komponen air saat biobriket dipanaskan pada suhu tinggi.



Gambar 3. Grafik kadar zat terbang dalam biobriket

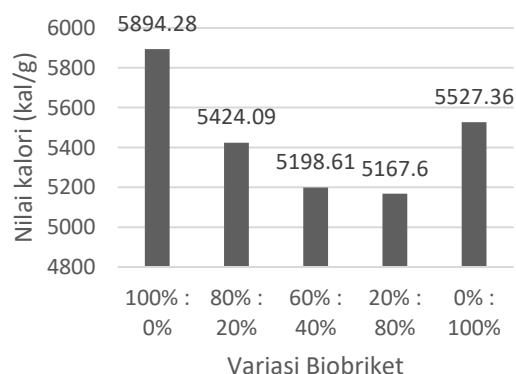
Dari Gambar 3 terlihat jika kadar zat terbang dalam penelitian ini berkisar antara 20 – 59%, yang berarti nilai kadar zat terbang lebih tinggi dari SNI maksimal 15%. Kadar zat terbang tertinggi terdapat pada variasi 0%:100%, dan terendah pada variasi 100%:0%. Nilai kadar zat

terbang pada gambar 3 terlihat fluktuatif, hal ini disebabkan pada proses pengarangan cangkang kelapa sawit banyak mengeluarkan asap. Suhu dan lama waktu pengarangan juga dapat menyebabkan banyak zat yang menguap dan terbang, sehingga akan diperoleh kadar zat menguap yang tinggi. Adanya zat pengotor dari bahan baku, jenis bahan yang digunakan juga akan menjadi penyebab tingginya kadar zat mudah menguap, sehingga memengaruhi kadar zat terbang tersebut.

Tingginya kadar zat terbang dalam biobriket akan menimbulkan banyak asap ketika briket dinyalakan, akan tetapi tingginya kadar zat terbang dapat membuat biobriket mudah terbakar [21].

3.4 Analisa nilai kalor

Nilai kalor merujuk pada jumlah energi panas yang dilepaskan atau diberikan selama proses pembakaran. Nilai kalor pada biobriket digunakan untuk mengukur berapa panas yang dihasilkan dari proses pembakaran biobriket [19].



Gambar 4. Grafik nilai kalor dalam biobriket

Gambar 4 menunjukkan nilai kalor yang diperoleh telah melebihi standar minimal SNI yaitu 5000 kal/g. Nilai kalor yang diperoleh terlihat fluktuatif, dimana terjadi penurunan nilai kalor pada variasi penambahan batu bara yang sedikit, dan mengalami peningkatan pada penggunaan cangkang kelapa sawit. Penurunan nilai kalor dapat disebabkan oleh nilai kadar air, kadar abu, kadar zat mudah menguap. Tingginya kadar air pada sampel, akan menurunkan nilai kalor. Kadar air yang tinggi dalam biobriket menyebabkan biobriket sulit untuk menyala, sehingga mengurangi nilai kalornya. Selain itu, kadar abu dan kadar zat terbang juga mempengaruhi nilai kalor. Semakin tinggi kadar abu, semakin rendah nilai kalornya, sementara kadar zat terbang yang tinggi akan mengurangi kandungan karbon dalam biobriket, yang pada gilirannya juga menurunkan nilai kalor [13]. Faktor yang juga bisa memberikan peningkatan

nilai kalor adalah jenis perekat yang digunakan, penggunaan perekat ini memungkinkan penambahan nilai kalor karena unsur karbon yang terdapat didalamnya [19]. Hal ini sejalan dengan penelitian [22] dan [23] dimana nilai kalor mengalami penurunan karena kadar air pada biobriket mengalami kenaikan.

Kenaikan nilai kalor pada penggunaan arang cangkang kelapa sawit tanpa penambahan batu bara diakibatkan oleh proses pembakaran, sehingga nilai kalor arang cangkang kelapa sawit juga tinggi.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa perbandingan antara batu bara dan cangkang kelapa sawit memengaruhi kualitas biobriket. Hal ini terlihat dari pengujian kualitas biobriket. Dari hasil analisis diperoleh nilai kalor yang tertinggi ada pada variasi 100%:0% yaitu 5894,28 kal/g, kadar air terendah ada pada variasi 100%:0% sebesar 2,69%, nilai kadar abu yang terendah pada variasi 60%:40% sebesar 8,96%, dan nilai zat terbang terendah pada variasi perbandingan 100%:0% sebesar 20,18%. Sehingga dari hasil penelitian ini perlu dikaji lebih lanjut penggunaan perekat yang disesuaikan dengan banyaknya massa yang digunakan, untuk dapat menghasilkan biobriket yang sesuai dengan SNI.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Suropto, S. Anwar, and A. Hamid, "Studi Kelayakan Produksi Briket dari Kayu Karet dan Sekam Padi Sebagai Upaya Diversifikasi Energi Berkelanjutan," *Accurate: Journal of Mechanical Engineering and Science*, vol. 4, no. 1, pp. 24–29, 2023, doi: 10.35970/accurate.v4i1.2044.
- [2] A. Vachlepi and D. Suwardin, "Penggunaan Biobriket Sebagai Bahan Bakar Alternatif Dalam Pengeringan Karet Alam," *Warta Perkaretan*, vol. 32, no. 2, p. 65, 2013, doi: 10.22302/ppk.wp.v32i2.38.
- [3] R. Rifdah, N. Herawati, and F. Dubron, "Pembuatan Biobriket Dari Limbah Tongkol Jagung Pedagang Jagung Rebus Dan Rumah Tangga Sebagai Bahan Bakar Energi Terbarukan Dengan Proses Karbonisasi," *Jurnal Distilasi*, vol. 2, no. 2, p. 39, 2018, doi: 10.32502/jd.v2i2.1202.
- [4] M. Setyani, D. Sespira, F. Anggiri, J. Aqbal, M. B. Erlangga, M. M. A. Pratiwi, D. Meilani, R. Zui, R. P. Triansyah, and Y. Saputra, "Inovasi Teknologi Briket Solusi Cerdas Untuk Pengelolaan Limbah Dan Energi Berkelanjutan," vol. 2, no. 7, pp. 2774–2780, 2024.
- [5] W. R. Wicaksono and S. Nurhatika, "Variasi Komposisi Bahan pada Pembuatan Briket Cangkang Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis*) dan Limbah Biji Kelor (*Moringa oleifera*)," *Jurnal Sains dan Seni ITS*, vol. 7, no. 2, pp. 66–70, 2019.
- [6] N. Sri, A. Noprianti, and N. Y. Sudiar, "JOURNAL OF APPLIED MECHANICAL ENGINEERING AND RENEWABLE ENERGY (JAMERE) Analisis Pemanfaatan Biobriket Dari Limbah Kulit Kopi Sebagai Basis Pengembangan Energi Terbarukan," vol. 4, no. 2, 2024.
- [7] Dirjen Perkebunan, "Analisis Kinerja Perdagangan Kelapa Sawit".
- [8] N. Kamal, "Karakterisasi dan Potensi Pemanfaatan Limbah Sawit," pp. 61–68, 2025.
- [9] C. R. Milya, E. Kurniawan, L. Hakim, and R. Dewi, "Pembuatan Briket Cangkang Kelapa Sawit Menggunakan Variasi Jenis Dan Persentase Perekat Tepung Tapioka Dan Tepung Beras," vol. 4, no. Agustus, pp. 505–516, 2023.
- [10] Iriany, R. Hasibuan, D. Novita, and N. M. Ummah, "Pengaruh Komposisi Bahan Baku dan Ukuran Partikel Terhadap Kualitas Biobriket dari Cangkang Buah Karet dan Ranting Kayu," *Jurnal Teknik Kimia USU*, vol. 12, no. 1, pp. 1–8, 2023, doi: 10.32734/jtk.v12i1.9818.
- [11] R. K. Dewi, M. I. Hudha, F. Darmawan, and D. W. Prasetyo, "Bio Briket Cangkang Aleurites Moluccana Melalui Gelombang Elektromagnetik Dengan Varian Daya Dan Durasi Waktu Karbonisasi," *Equilibrium Journal of Chemical Engineering*, vol. 4, no. 2, p. 49, 2021, doi: 10.20961/equilibrium.v4i2.47912.
- [12] D. Pratiwi, S. Syakur, and D. Darusman, "Karakteristik Biochar Pada Beberapa Metode Pembuatan dan Bahan Baku," *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, vol. 6, no. 3, pp. 210–216, 2021.
- [13] M. R. Aziz, A. L. Siregar, A. B. Rantawi, and I. B. Rahardja, "Pengaruh Jenis Perekat Pada Briket Cangkang Kelapa Sawit Terhadap Waktu Bakar," pp. 1–10, 2019.

- [14] I. Mining, S. P. Adji, and R. Kurniawati, "Optimalisasi Peningkatan Kualitas Batubara Dengan Menggunakan Metode Flotasi," vol. 5, no. 1, pp. 45–49, 2022.
- [15] W. Kristiana, "Pemanfaatan batu bara," pp. 87–93, 2020.
- [16] A. M. H. D. T. Al-alang and F. Fadhilah, "Analisis Pengaruh Pemberian Cangkang Kelapa Sawit Terhadap Nilai Parameter Batubara," *Bina Tambang*, vol. 5, no. 1, pp. 190–199, 2020.
- [17] O. Pencampuran, B. Dengan, S. Studi, K. Pt, and C. Bumi, "MENGUNAKAN METODE TRIAL AND ERROR UNTUK MEMENUHI STANDAR BATUBARA PLTU," vol. 6, no. 1, pp. 100–109.
- [18] M. Jahiding, E. Hasan, M. Mashuni, Y. Milen, and F. Ayuningsih, "Kinerja Coke Hybrid Berbasis Tandan Kosong Kelapa Sawit Dan Limbah Plastik Polypropylene Yang Diproduksi Dengan Metode Co Pirolisis," *Indonesian Journal of Energy and Mineral*, vol. 3, pp. 1–6, May 2023, doi: 10.53026/IJoEM/2023/3.1/1039.
- [19] Nurhudah, "Pembuatan Briket Dari Campuran Limbah Kulit Singkong (Manihot Utilissima) Dan Kulit Kapuk (Ceiba Pentandra L. Gaertn) Dengan Perekat Getah Pinus," UIN Alauddin Makassar, 2018.
- [20] M. Saukani, R. Setyono, and I. Trianiza, "Pengaruh jumlah perekat karet terhadap kualitas briket cangkang sawit," *Jurnal Fisika Flux: Jurnal Ilmiah Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat*, vol. 1, no. 1, pp. 159–162, 2019.
- [21] D. Naim and D. D. Saputro, "Pengaruh variasi temperatur cetakan terhadap karakteristik briket kayu sengon pada tekanan kompaksi 5000 Psig," *JMEL: Journal of Mechanical Engineering Learning*, vol. 2, no. 1, 2013.
- [22] B. S. Putra and A. A. Hidayat, "Briket Dari Cangkang Kelapa Sawit Menggunakan Perekat Daun Belimbing Wuluh," pp. 14–19, 2015.
- [23] Y. Arbi and M. Irsad, "Pemanfaatan limbah cangkang kelapa sawit menjadi briket arang sebagai bahan bakar alternatif," *CIVED*, vol. 5, no. 4, 2018.