



Optimalisasi Suhu dan Waktu Karbonisasi Cangkang Kemiri Untuk Produksi Briket Komersil

Kidung Tirtayasa Putra Pangestu^{1*}, Baharuddin¹, Gelma Syafira¹

¹Fakultas Kehutanan, Universitas Hasanuddin, Makassar, Indonesia

Corresponding Author

✉ Email:

Kidung.tirtayasa@gmail.com

Abstract

Briquette is an alternative energy resources based biomass that have been studied and developed to reduce environmental degradation due to the use of fossil fuels for a long time. This study aimed to investigate the optimal time and temperature in the carbonization process of candlenut shell to produce high-quality briquettes. A candlenut shell waste was chosen to be converted into a briquette and tested. The carbonization temperature was varied to 300, 400, 500, and 600 oC, while the time was varied to 60, 90, and 120 minutes. The result show that the high carbonization temperature of candlenut shells results in high density, low weight loss, low combustion rate, and high calorific value. Carbonization temperature provides no effect on moisture content and compressive strength, while carbonization time provides no effect on all quality parameters tested in this study. The quality of briquettes is more sensitive to changes in carbonization temperature compared to carbonization time. Although briquettes carbonized at 600 oC for 60 minutes produced better quality (higher density, lower weight loss, lower combustion rate, and higher calorific value) compared to other carbonization conditions tested in this study, the result of testing parameters of water content and calorific value do not meet SNI requirements.

Keywords: Candlenut shell, briquette, temperature, time, carbonization

Abstrak

Briket merupakan salah satu sumber energi alternatif berbasis biomassa yang telah diteliti dan dikembangkan untuk mengurangi degradasi lingkungan akibat penggunaan bahan bakar fosil sejak lama. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui waktu dan suhu optimal pada proses karbonisasi cangkang kemiri untuk menghasilkan briket berkualitas tinggi. Limbah cangkang kemiri dipilih untuk diubah menjadi briket dan diuji. Suhu karbonisasi divariasikan menjadi 300, 400, 500, dan 600 oC, sedangkan waktu karbonisasi divariasikan menjadi 60, 90, dan 120 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu karbonisasi kulit kemiri yang tinggi menghasilkan kerapatan yang tinggi, susut bobot yang rendah, laju pembakaran yang rendah, dan nilai kalor yang tinggi. Suhu karbonisasi tidak memberikan pengaruh terhadap kadar air dan kuat tekan, sedangkan waktu karbonisasi tidak memberikan pengaruh terhadap seluruh parameter kualitas yang diuji dalam penelitian ini. Kualitas briket lebih sensitif terhadap perubahan suhu karbonisasi dibandingkan dengan waktu karbonisasi. Meskipun briket yang dikarbonisasi pada suhu 600 oC selama 60 menit menghasilkan kualitas yang lebih baik (kerapatan lebih tinggi, kehilangan berat lebih rendah, laju pembakaran lebih rendah, dan nilai kalor lebih tinggi) dibandingkan dengan kondisi karbonisasi lain yang diuji dalam penelitian ini, namun hasil pengujian parameter kadar air dan nilai kalor tidak memenuhi persyaratan SNI.

Kata Kunci: Cangkang kemiri, briket, suhu, waktu, karbonisasi

PENDAHULUAN

Sebagai sumber energi tak terbarukan, ketersediaan bahan bakar fosil di alam semakin berkurang, sedangkan ketergantungan masyarakat terhadap energi fosil semakin meningkat seiring dengan peningkatan konsumsi energi akibat peningkatan urbanisasi, industrialisasi, jumlah penduduk, dan pertumbuhan pembangunan (Miito dan Banadda , 2017 ; Budiawan dkk., 2014; Ibitoye dkk., 2021). Menurut statistik energi global, total konsumsi energi dunia adalah 13,9 juta ton pada tahun 2016 saja

yang didominasi oleh bahan bakar fosil (Enerdata , 2017). Saat ini, bahan bakar fosil menyediakan sekitar 80% kebutuhan energi global (Kpalo et al., 2020).

Eksplorasi dan konsumsi bahan bakar fosil menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan, termasuk emisi gas rumah kaca dan degradasi lingkungan (Martono , 2017; Iftikhar et al., 2019; Bartolome et al., 2020). Sementara itu, keinginan untuk menyediakan energi terbarukan, berkelanjutan, bersih, dan ramah lingkungan terus meningkat sebagai upaya mengurangi degradasi lingkungan akibat penggunaan bahan bakar fosil sejak lama. Hal ini penting untuk menyediakan kehidupan yang sehat dan lingkungan yang hijau (Ibitoye et al., 2021). Oleh karena itu, berbagai jenis sumber energi alternatif telah dipelajari dan dikembangkan, seperti energi surya, angin, panas bumi, dan biomassa (Weliwaththage dan Arachchige , 2020; Kumar et al., 2017; Elbarbary et al., 2022; Ajala et al. , 2021).

Di antara alternatif energi terbarukan, biomassa memiliki keuntungan besar karena tersedia dalam jumlah besar dari berbagai sumber (Bartolome et al., 2020). Biomassa merupakan bahan organik yang mengandung lignoselulosa. Berbagai jenis bahan lignoselulosa dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi potensial, termasuk hasil hutan dan limbah pertanian. Sebagai negara tropis, Indonesia memiliki banyak sumber daya biomassa yang berpotensi besar untuk dikembangkan sebagai bahan bakar terbarukan untuk kebutuhan sehari-hari (Pratiwi , 2020).

Energi biomassa menghasilkan tingkat karbon dioksida yang lebih rendah di atmosfer karena rendahnya emisi gas selama proses pembakaran. Emisi tersebut dilaporkan lebih mudah diserap tanaman (Mustamu dan Pari, 2018). Selain itu, pemanfaatan biomassa sebagai energi alternatif dengan menggantikan bahan bakar fosil konvensional telah mengurangi kerusakan lingkungan dan emisi gas rumah kaca melalui penyediaan energi bersih. Namun, biomassa dilaporkan memberikan efisiensi termal yang rendah, efisiensi pembakaran yang buruk, kadar air yang tinggi, nilai kalor yang rendah, kerapatan energi yang rendah, emisi asap dan gas rumah kaca yang tinggi, ukuran dan bentuk yang tidak seragam, kesulitan untuk dimanfaatkan dan dimanfaatkan. , dan menghasilkan debu (Kansai et al, 2018; Lee et al., 2018; Jamradioedluk dan Lertsatitthanakorn , 2017; Ibitoye et al., 2021).

Kerugian biomassa sebagai sumber energi yang disebutkan di atas dapat diminimalkan dengan pembuatan briket. Briket adalah transformasi biomassa menjadi briket bahan bakar dengan konsentrasi energi tinggi. Ini meningkatkan sifat fisiko -mekanis dan pembakaran (Ajiboye et al., 2016; Oladeji et al., 2016). Ini mengurangi biaya penanganan, transportasi, dan penyimpanan. Briket juga menghasilkan emisi yang lebih rendah dibandingkan bentuk mentahnya dan bahan bakar fosil konvensional lainnya (Nanda et al., 2018).

Di Indonesia, briket berkualitas tinggi mempunyai kadar air rendah ($\leq 8\%$), kadar abu rendah ($\leq 8\%$), susut berat rendah ($\leq 15\%$), dan nilai kalor tinggi ($\geq 5000 \text{ kal/g}$) (SNI 01-6235 -2000). Kualitas briket dapat dipengaruhi oleh jenis bahan baku dan proses karbonisasi. Bahan baku yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah kemiri (Alurites moluccana) cangkang. Salah satu limbah hasil hutan non kayu yang dinilai menjanjikan untuk dikembangkan sebagai bahan baku briket. Hal ini disebabkan kerapatan dan kandungan lignin yang lebih tinggi dibandingkan limbah kayu (Langsdorf et al., 2021), dan tersedia dalam jumlah besar di Indonesia. Harga cangkang kemiri saat ini sangat murah, bahkan di beberapa daerah belum dimanfaatkan dengan baik. Oleh karena itu pemanfaatannya untuk briket akan memberikan nilai tambah ekonomi serta memaksimalkan potensinya dan mencegah degradasi lingkungan.

Parameter proses karbonisasi yang menentukan kualitas arang adalah suhu dan waktu karbonisasi (Oladeji, 2010). Afriani et al., (2017) melaporkan bahwa karbonisasi cangkang kemiri menggunakan tungku bersuhu 500°C selama 2 jam menghasilkan nilai kalor briket yang rendah (3350 kal /g), dan tidak memenuhi persyaratan nilai kalor pada briket. SNI 01-6235-2000. Kafama dan Botahala (2020) juga melakukan karbonisasi cangkang kemiri menggunakan tungku manual selama 2 jam. Hasil penelitian menunjukkan nilai kalor briket memenuhi persyaratan standar, namun kadar abunya tidak.

Sedangkan karbonisasi cangkang kemiri pada suhu 500-600 °C selama 45 menit menghasilkan nilai kalor briket yang tinggi. Namun kandungan airnya terlalu tinggi dan tidak memenuhi syarat (Hutagalung et al., 2017). Hasil tersebut menunjukkan bahwa proses karbonisasi yang tidak sempurna karena waktu yang singkat dan suhu karbonisasi yang rendah akan menghasilkan briket dengan kadar air dan zat yang mudah menguap yang tinggi. Sebaliknya, waktu dan suhu karbonisasi yang terlalu tinggi akan menurunkan nilai kalor dan meningkatkan kadar abu briket.

Penelitian-penelitian terdahulu yang diuraikan di atas menunjukkan bahwa proses karbonisasi cangkang kemiri diatur pada parameter yang belum optimal. Akibatnya mutu briket juga tidak memenuhi baku mutu yang telah ditentukan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui waktu dan suhu optimal pada proses karbonisasi cangkang kemiri untuk menghasilkan briket berkualitas tinggi.

METODE

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah cangkang kemiri kering yang dibeli dari masyarakat lokal di Kabupaten Soppeng, Provinsi Sulawesi Selatan, Indonesia. Pati komersial dari tepung tapioka juga digunakan untuk mengikat partikel cangkang kemiri yang terkarbonisasi selama pembuatan briket dan untuk memperkuat briket. Pembuatan briket dilakukan dalam tiga tahap. Yaitu karbonisasi, pencampuran, dan pencetakan.

Karbonisasi

Pertama, limbah cangkang kemiri dicuci untuk menghilangkan kontaminan pada permukaannya. Kemudian dijemur di bawah sinar matahari hingga mencapai kondisi kering udara. Selanjutnya cangkang dikarbonisasi dalam tungku Thermolyne FB1410M. Suhu dan waktu karbonisasi bervariasi. Suhu divariasi menjadi 300, 400, 500, dan 600 °C, sedangkan waktu divariasi menjadi 60, 90, dan 120 menit. Setelah itu, cangkang yang telah dikarbonisasi harus didinginkan pada suhu kamar.

Percampuran

Cangkang berkarbonisasi digiling terlebih dahulu menggunakan hammer mill untuk mengubahnya menjadi bubuk. Kemudian partikel diayak menggunakan ayakan 80 mesh. Serbuk yang lolos saringan 80 mesh digunakan untuk pencampuran. Namun yang perlu diperhatikan dalam penelitian ini adalah cangkang yang terkarbonisasi pada suhu 300 °C selama 60 dan 90 menit tidak terkarbonisasi sempurna. Hal ini menyebabkan terbentuknya cangkang yang keras dan tidak dapat digiling, sehingga tidak dapat digiling cetakan menjadi briket.

Sebelum dilakukan pencampuran, bahan pengikat disiapkan terlebih dahulu. Tepung tapioka dicampur dengan air dengan perbandingan 10:1 b/b. Kemudian larutan dipanaskan dengan api sedang selama 10 menit. Setelah itu, larutan cair 5% dituangkan ke dalam bubuk cangkang berkarbonisasi dan diaduk untuk memastikan bahwa setiap bubuk terlapisi bahan pengikat. Proses ini akan meningkatkan daya rekat dan menghasilkan briket yang dentik.

Penyetakan

Campuran tersebut dicetak menggunakan mesin press yang ditambah dengan alat cetak briket. Bentuk briket yang dicetak berbentuk silinder dengan diameter alat 2,5 cm dan tinggi 2 cm. Sketsa alat pencetakan briket ditunjukkan pada Gambar 2. Parameter pencetakan diatur seperti pada Tabel 1. Setelah pencetakan, briket dipanaskan dalam oven pada suhu 60 °C selama 2 jam.

Evaluasi Kualitas

Kualitas briket yang dihasilkan dievaluasi berdasarkan SNI 01-6235-2000. Kadar air, susut berat, dan nilai kalor briket diukur. Selain itu dilakukan pula pengukuran kerapatan, kuat tekan, dan laju pembakaran briket. Hasil pengukuran tersebut dibandingkan dengan standar minimal mutu briket. Metode pengukurannya adalah sebagai berikut:

Kadar air briket adalah jumlah air yang terkandung dalam briket, dinyatakan dalam persen. Hal ini ditentukan dengan mengukur berat awal sampel. Kemudian sampel dimasukkan ke dalam oven pada suhu $103 \pm 2^\circ\text{C}$ selama 24 jam hingga beratnya konstan. Kemudian sampel didinginkan dalam desikator selama 15 menit lalu ditimbang. Kadar air dihitung berdasarkan rumus berikut:

$$\text{MC (\%)} = \frac{W-D}{W} \times 100$$

dimana W mengacu pada berat awal dalam gram, dan D mengacu pada berat kering oven dalam gram.

Penurunan berat badan ditentukan dengan menempatkan sampel briket pada piring porselein yang diketahui beratnya dalam tungku peredam pada suhu 950°C selama 7 menit. Sampel didinginkan dalam desikator selama 1 jam kemudian ditimbang. Penurunan berat badan dihitung berdasarkan rumus berikut:

$$\text{Penurunan berat badan (\%)} = \frac{W_1-W_2}{W_2} \times 100$$

dimana W_1 mengacu pada berat awal dalam gram, dan W_2 mengacu pada berat akhir sampel dalam gram.

Nilai kalor merupakan hasil pembakaran sampel dengan adanya oksigen dalam kalorimeter bom pada kondisi tertentu. Nilai kalor dihitung berdasarkan rumus berikut:

$$\text{Calorific value} = \frac{tw - L_1 - L_2 - L_3}{B}$$

dimana t mengacu pada kenaikan suhu, w mengacu pada $2426 \text{ kal} / {}^\circ\text{C}$, L_1 mengacu pada jumlah natrium karbonat yang digunakan untuk titrasi dalam ml, L_2 mengacu pada $13,7 \times 1,02 \times$ berat sampel, L_3 mengacu pada $2,3 \times$ panjang kawat sekring yang terbakar, B mengacu pada berat sampel dalam gram.

Kerapatan briket ditentukan dengan menimbang sampel kemudian membaginya dengan volume sampel. Kerapatan briket dihitung berdasarkan rumus berikut:

$$\rho = \frac{M}{V}$$

dimana ρ mengacu pada kerapatan dalam g/cm^3 , M mengacu pada massa dalam gram, dan V mengacu pada volume sampel dalam cm^3 .

Uji kuat tekan dilakukan pada Universal Testing Machine (UTM). Itu dihitung berdasarkan rumus berikut:

$$P = \frac{Mb}{A}$$

Dimana P mengacu pada kuat tekan briket dalam kg/cm^2 , Mb mengacu pada beban maksimum yang diterima sampel hingga pecah dalam kg, dan A mengacu pada luas permukaan kontak dalam cm^2 .

Laju pembakaran briket ditentukan dengan menimbang sampel sebelum dan sesudah pembakaran. Itu dihitung berdasarkan rumus berikut:

$$\text{Combustion rate} = \frac{\text{Mass burnt}}{\text{Time burnt}}$$

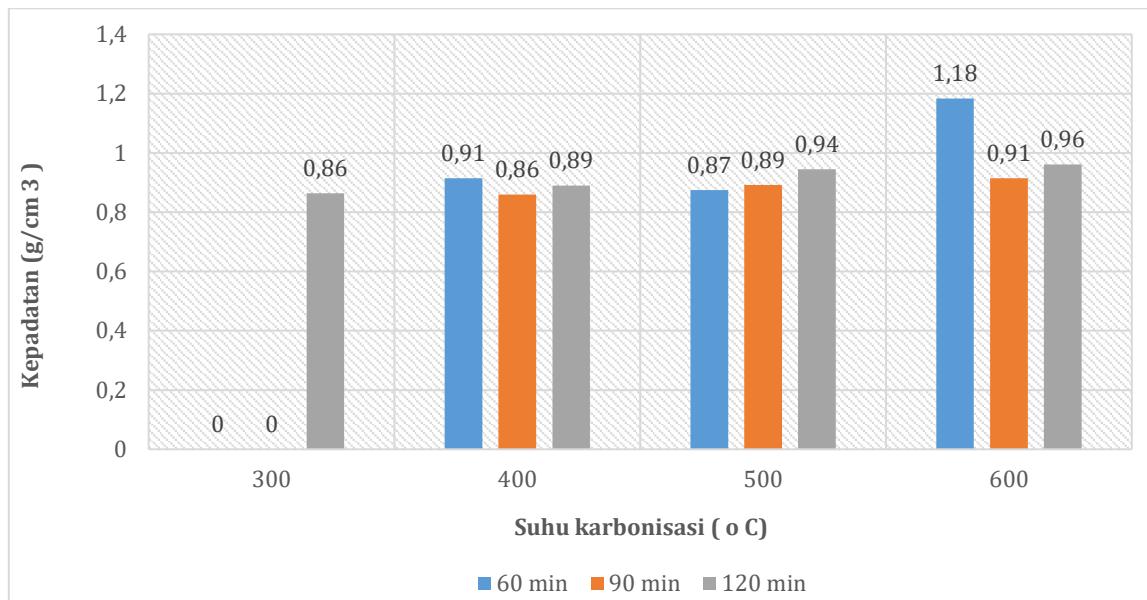
dimana massa briket yang terbakar sama dengan selisih antara berat sisa briket dalam gram dengan berat awal sampel dalam gram.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Kerapatan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata kerapatan briket karbonisasi pada suhu 300, 400, 500, dan $600 {}^\circ\text{C}$ berturut-turut adalah 0,86, 0,89, 0,90, dan $1,02 \text{ g/cm}^3$. Hasil ini menunjukkan bahwa

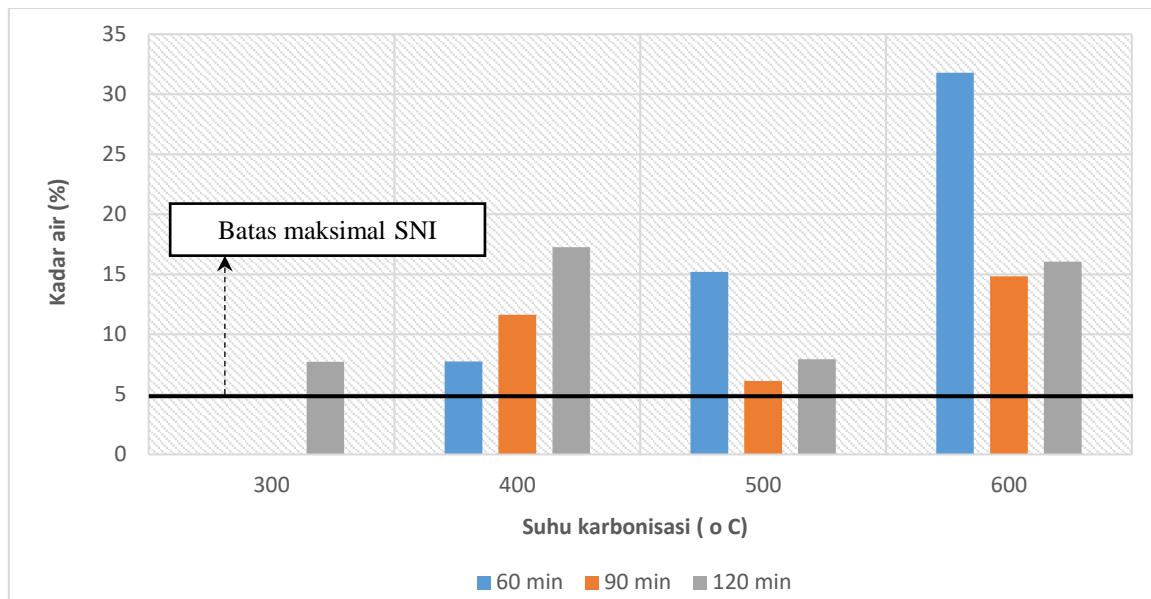
semakin tinggi suhu karbonisasi maka semakin tinggi pula kerapatan briket yang dihasilkan. Hal ini disebabkan semakin tinggi suhu karbonisasi maka cangkang kemiri semakin rapuh. Hal ini mengakibatkan cangkang kemiri yang terkarbonisasi mudah hancur dan menghasilkan partikel yang lebih halus dibandingkan dengan cangkang kemiri yang terkarbonisasi pada suhu yang lebih rendah. Partikel cangkang kemiri yang terkarbonisasi lebih halus akan menghasilkan struktur briket yang lebih padat. Hasil pada Gambar 1 juga menunjukkan bahwa perbedaan waktu karbonisasi mengakibatkan kecenderungan kerapatan briket yang tidak konsisten. Artinya perbedaan waktu karbonisasi tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap kerapatan briket tempurung kemiri.



Gambar 1. Kerapatan briket tempurung kemiri pada berbagai waktu dan temperatur karbonisasi

2. Kadar air

Hasil pada Gambar 2 menunjukkan bahwa kadar air briket cangkang kemiri cenderung bervariasi dengan tren yang tidak konsisten pada berbagai suhu dan waktu karbonisasi. Hal ini mungkin disebabkan oleh beberapa faktor teknis. Pertama, kelembaban lingkungan yang tidak stabil selama proses pencetakan menyebabkan dihasilkannya briket dengan kadar air yang bervariasi. Kedua, suhu polimerisasi perekat tidak terkontrol akibat proses pemanasan secara manual. Hal ini mengakibatkan kadar air perekat bervariasi. Akibatnya kadar air setiap campuran briket juga bervariasi. Ketiga, briket yang telah dicetak tidak segera dimasukkan ke dalam oven, sehingga menyebabkan briket yang dicetak lebih awal akan menerima pengaruh kelembaban yang lebih besar dibandingkan briket yang dicetak pada akhir. Kadar air briket cangkang kemiri lebih tinggi yaitu 20,1% dilaporkan oleh Hutagalung dkk. (2017). Penelitian mengarbonisasi cangkang kemiri pada suhu 500-600 °C selama 45 menit.

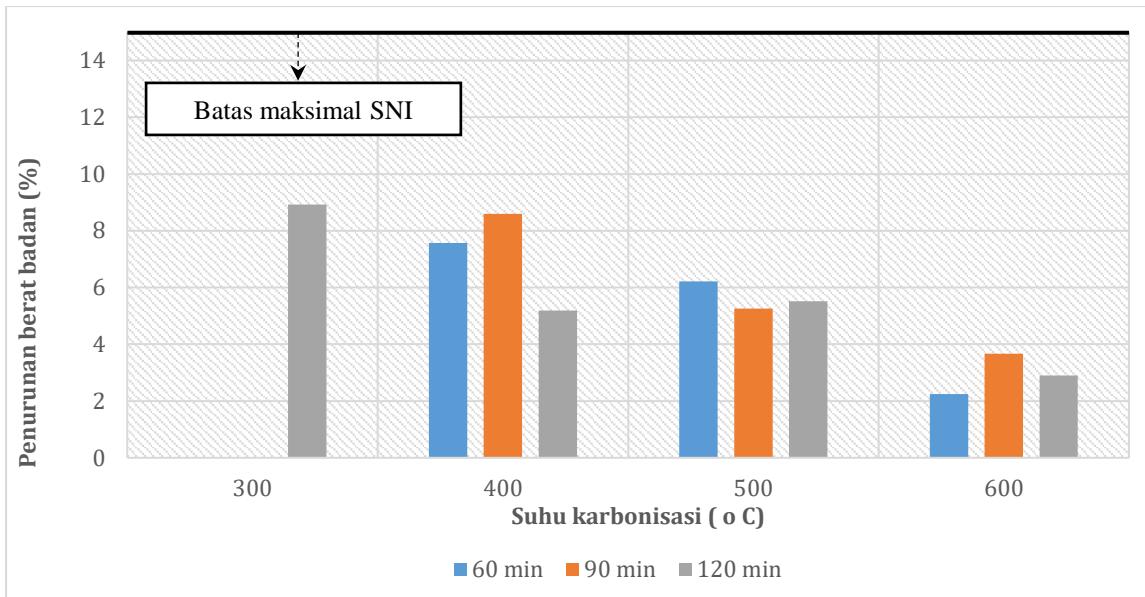


Gambar 2. Kadar air briket tempurung kemiri pada berbagai waktu karbonisasi dan suhu

Fenomena unik ditunjukkan oleh briket cangkang kemiri yang dikarbonisasi pada suhu 600 °C selama 60 menit. Dibandingkan dengan briket lainnya, briket ini mempunyai kadar air yang luar biasa tinggi, bahkan hingga dua kali lipat kadar air briket lainnya. Fenomena ini kemungkinan menjadi penyebab tingginya kerapatan briket karbonisasi pada suhu 600 °C selama 60 menit seperti terlihat pada Gambar 3. Selain itu, kadar air yang tinggi akan berdampak negatif pada kuat tekan dan waktu penyalakan briket.

3. Penurunan berat

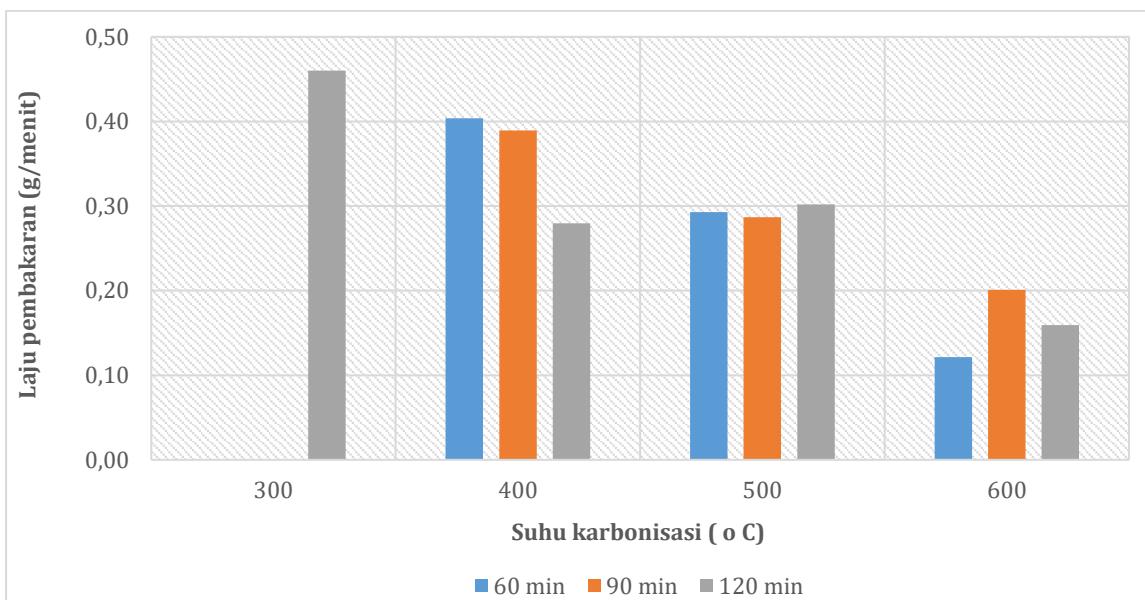
Hasil pada Gambar 3 menunjukkan adanya korelasi linier negatif antara suhu karbonisasi dengan susut berat briket tempurung kemiri. Hasil penelitian menunjukkan rata-rata kehilangan berat briket karbonisasi pada suhu 300, 400, 500, dan 600 °C masing-masing sebesar 8,9, 7,1, 5,7, dan 2,9%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu karbonisasi maka semakin sedikit massa briket yang tereduksi akibat pembakaran. Hal ini juga dapat mengindikasikan bahwa semakin tinggi suhu karbonisasi maka kandungan karbon dalam briket semakin tinggi, laju pembakaran semakin rendah, dan umur briket semakin lama. Sebaliknya, waktu karbonisasi cangkang kemiri tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap penurunan bobot dengan tren yang tidak konsisten pada setiap suhu karbonisasi. Variasi kadar air briket mungkin menjadi penyebab fenomena ini.



Gambar 3. Penurunan berat briket tempurung kemiri pada berbagai waktu karbonisasi dan temperatur

4. Laju dan waktu pembakaran

Hasil pada Gambar 4 menunjukkan rata-rata laju pembakaran briket karbonisasi pada suhu 300, 400, 500, dan 600 °C adalah 0,46, 0,36, 0,29, dan 0,16 g/menit. Pada penelitian ini ditemukan bahwa semakin besar suhu karbonisasi maka semakin lambat laju pembakaran briket. Berbeda dengan fenomena suhu karbonisasi, waktu karbonisasi malah tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap laju pembakaran.



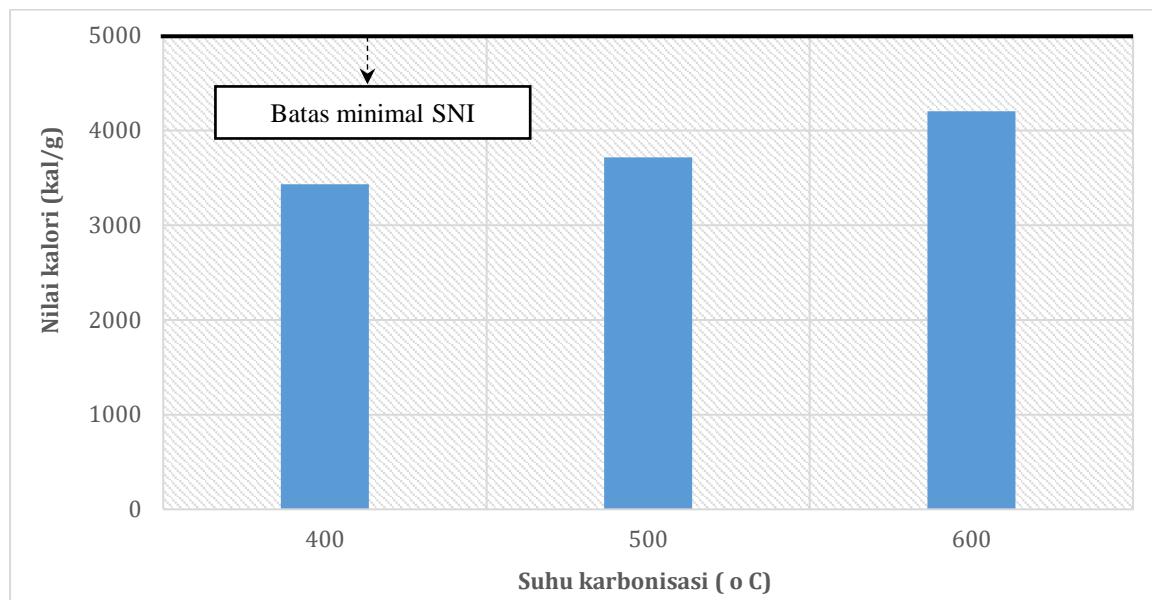
Gambar 4. Laju pembakaran briket tempurung kemiri pada berbagai waktu dan temperatur karbonisasi

5. Nilai kalori

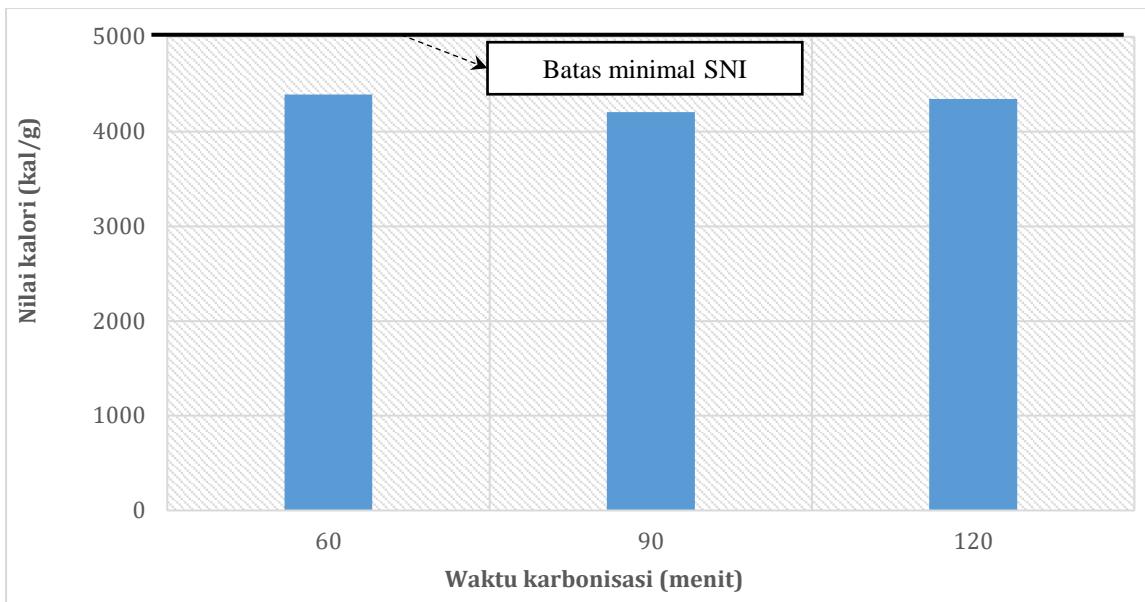
Seperti disajikan pada Gambar 5, nilai kalor briket tempurung kemiri meningkat seiring dengan meningkatnya suhu karbonisasi. Nilai kalor briket cangkang kemiri tertinggi dihasilkan pada karbonisasi pada suhu 600 °C (4204 cal/g) dan nilai kalor terendah dihasilkan pada karbonisasi pada suhu 400 °C

(3431 cal/g). Namun sayangnya, seluruh variasi suhu yang dilakukan pada cangkang kemiri menghasilkan briket dengan nilai kalor yang tidak memenuhi persyaratan Standar Nasional Indonesia (SNI). Perbedaan waktu karbonisasi juga menunjukkan fenomena yang sama (Gambar 6). Hal ini menunjukkan bahwa tidak ada satupun kombinasi perlakuan yang menghasilkan nilai kalor yang sesuai dengan ketentuan SNI. Meskipun cangkang kemiri memiliki kandungan lignin yang tinggi (54,46%) (Marzuki et al., 2020; Botahala et al, 2019), namun tidak menjamin akan menghasilkan briket dengan nilai kalori yang tinggi. Hasil ini berbeda dengan penelitian sebelumnya yang melaporkan bahwa kandungan lignin yang tinggi pada cangkang menghasilkan nilai kalor yang tinggi sehingga menjanjikan untuk diubah menjadi briket. (Jaya dan Akmal, 2018).

Namun nilai kalor tertinggi dari briket yang dihasilkan pada penelitian ini ditunjukkan oleh cangkang kemiri yang dikarbonisasi pada suhu 600 °C selama 60 menit. Hal ini dapat disebabkan oleh fenomena penurunan berat dan laju pembakaran, dimana karbonisasi pada suhu 600 °C selama 60 menit menghasilkan briket cangkang kemiri dengan sifat terbaik diantara kondisi karbonisasi lain yang ditetapkan dalam penelitian ini.



Gambar 5. Nilai kalor briket tempurung kemiri yang dikarbonisasi pada berbagai temperatur selama 90 menit



Gambar 6. Nilai kalor briket tempurung kemiri yang dikarbonisasi pada suhu 600 °C

SIMPULAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa suhu karbonisasi kulit kemiri yang tinggi menghasilkan kerapatan yang tinggi, kehilangan berat yang rendah, laju pembakaran yang rendah, dan nilai kalor yang tinggi. Suhu karbonisasi tidak memberikan pengaruh terhadap kadar air dan kuat tekan, sedangkan waktu karbonisasi tidak memberikan pengaruh terhadap seluruh parameter kualitas yang diuji dalam penelitian ini. Kualitas briket lebih sensitif terhadap perubahan suhu karbonisasi dibandingkan dengan waktu karbonisasi. Meskipun briket yang dikarbonisasi pada suhu 600 °C selama 60 menit menghasilkan kualitas yang lebih baik (kerapatan lebih tinggi, kehilangan berat lebih rendah, laju pembakaran lebih rendah, dan nilai kalor lebih tinggi) dibandingkan dengan kondisi karbonisasi lain yang diuji dalam penelitian ini, namun hasil pengujian parameter kadar air dan kalori nilainya tidak memenuhi persyaratan SNI. Oleh karena itu, peneliti menyarankan agar penelitian serupa kedepannya dapat dilakukan dengan prosedur yang lebih ketat terutama dalam pengendalian faktor teknis seperti kelembaban lingkungan dan suhu polimerisasi perekat.

DAFTAR PUSTAKA

- Afriani C.D., Yufita E., Nurmala. 2017. Heat energy of candlenut shell and tamarind skin briquet with variation on particle size and pressure pressing. *Journal of Aceh Physics Society*. 6(1): 6-9.
- Ajala E.O., Ighalo J.O., Ajala M.A., Adeniyi A.G., Ayanshola A.M. 2021. Sugarcane bagasse: a biomass sufficiently applied for improving global energy, environment and economic sustainability. *Bioresource and Bioprocess*. 8(87): 1-25.
- Ajiboye T.K., Abdulkareem S., Anibijuwon A.O.Y. 2016. Investigation of mechanical properties of briquette product of sawdust-charcoal as a potential domestic energy source. *J Appl Sci Environ Manag*. 20(4): 1179–1188.
- Bartolome G.J.C., De Leon S.M.C., Polinga C.A., Roño J.M.B. 2020. Design, fabrication, and testing of biomass pelletizing machine for coffee wastes. *3rd International Conference On Green Energy And Environment Engineering. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 633: 012002.

- Botahala L., Malailak Y., Maure H.S., Karlani, H. 2019. Determination of effectiveness absorption of the rice husk and hazelnut shell to purification used cooking oil. *Indonesian Chemical Deed Journal*. 12(1): 19-28.
- Budiawan L., Susilo B., Hendrawam Y. 2014. Pembuatan dan karakterisasi briket bioarang dengan variasi komposisi kulit kopi. *Jurnal Bioproses Komoditas Tropis*. 2(2): 152-160.
- Elbarbary S., Zaher M.A., Saibi H., Fowler A.R., Saibi K. 2022. Geothermal renewable energy prospects of the african continent using GIS. *Geothermal Energy*. 10(8): 1-19.
- Enerdata. 2017. World Energy Consumption Statistics Yearbook. <https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-consumption-statistics.html>
- Hutagalung S.C., Erwin, Panggabean A.S. 2017. The manufacture of coal briquettes has been waste from tropical almond (*Terminalia catappa*) seed shell and candlenut (*Aleurites moluccana* L. Willd.) seed shell. *Prosiding Seminar Nasional Kimia FMIPA UNMUL*. 164-169.
- Ibitoye S.E., Tien-Chien J., Mahamood R.M., Akinlabi E.T. 2021. Densification of agro-residues for sustainable energy generation: an overview. *Bioresource and Bioprocess*. 8(75): 1-19.
- Iftikhar M., Asghar A., Ramzan N., Sajjadi B., Chen W.Y. 2019. Biomass densification: Effect of cow dung on the physicochemical properties of wheat straw and rice husk-based biomass pellets. *Biomass-Bioenergy*. 122: 1-16.
- Jaya M., Akmal N.M. 2018. Tempurung kemiri sebagai bahan baku briket dengan menggunakan tungku pembakaran aluminium. *Hasanuddin Student Journal*. 2(1): 248-253.
- Kafama E., Botahala L. 2020. Comparison of the quality of coconut shell briquettes and candlenut shells as alternative fuels. *Journals of Techno Entrepreneur Acta*. 5(2): 100-103.
- Kansai N., Chaisuwan N., Supakata N. 2018. Carbonized briquettes as a tool for adding value to waste from rain tree (*Samanea saman*) and coffee ground/tea waste. *Engineering Journal*. 22(6): 47-63.
- Kpalo S.Y., Zainuddin M.F., Abd Manaf L., Roslan A.M. 2020. A review of technical and economic aspects of biomass briquetting. *Sustainability*. 12: 4609.
- Kumar M.V., Vithyasagar T., Rajavel R. 2017. Analysis of biomass briquettes by using different agricultural wastes. *Proceedings of the International Conference on Technological Advances in Mechanical Engineering*, Chennai, India.
- Langsdorf A., Volkmar M., Holtmann D., Ulber R. Material utilization of green waste: a review on potential valorization methods. *Bioresource and Bioprocess*. 8(87): 1-26.
- Lee J., Sarmah A.K., Kwon E.E. 2018. Production and formation of biochar. Biochar from Biomass and Waste. *Fundamentals and Applications*. 3-18.
- Martono. 2017. Fenomena gas rumah kaca. *Forum Teknologi Pudiklat Migas ESDM*. 5(2).
- Marzuki I., Chaerul M., Erniati, Asmeati, Paserangi I. 2020. Biodegradation of aliphatic waste components of oil sludge used micro symbiont of Sponge Niphates sp. *ICMS, IOP Publishing*. 429(1): 012056.
- Miito G.J., Banadda N. 2017. A short review on the potential of coffee husk gasification for sustainable energy in Uganda. *F1000Res*. 6:1809.
- Mustamu S., Pari G. 2018. Kayu putih dan gondorukem. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*. 36(3): 191-204.
- Nanda R.A., Fona Z., Pardi. 2018. Analisis mutu briket arang cangkang kopi, cangkang kemiri dan tempurung kelapa ditinjau dari kadar perekat kanji. *Proceeding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe*. 2(1): 1-4.
- Oladeji J., Balogun A.O., Adetola S.O. 2016. Characterization of briquettes produced from corn cobs and corn stalks. *Comput Inf Syst Dev Informat Allied Res J*. 7(2): 65-72.
- Oladeji J.T. 2010. Fuel characterization of briquettes produced from corncob and rice husk residues. *Pacific J Sci Technol*. 11(1): 101-106.

Pratiwi V.D. 2020. Effect of burning temperature on the quality of alternatife bio-energy from coffee waste. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, and Teknik Elektronika*. 8(3): 615.

Weliwaththage S.R.G., Arachchige U.S.P.R. 2020. Solar energy technology. *Journal of Research Technology and Engineering*. 1(3): 67-75.