

Pembuatan bio-briket dari produk pirolisis biochar cangkang kelapa sawit sebagai sumber energi alternatif

Production of bio-briquettes derived from biochar pyrolysis of oil palm shells as sustainable fuel sources

Rina Novia Yanti*, Ambar Tri Ratnaningsih, Hanifah Ikhsani

Department of Forestry, Faculty of Forestry, Universitas Lancang Kuning, Pekanbaru, Indonesia

ARTICLE INFO

Article History

Received: September 22, 2021

Accepted: February 28, 2022

Published: March 31, 2022

Keywords:

*bio-briquettes,
oil palm shell,
ash content,
calorific value,
sustainable fuel.*

Cite this:

J. Ilm. Pertan., 2022, 19 (1) 11-18

DOI:

<https://doi.org/10.31849/jip.v19i1.7815>

ABSTRACT

Fossil fuel sources are non-renewable energy sources and someday will experience scarcity due to the increasing population; it is necessary to look for alternative fuels. Several renewable energies that can replace fossil fuels are water, solar energy, wind, thermal energy, and biomass energy. One biomass energy from plantations is biomass from oil palm plantation waste. Riau Province is Indonesia's largest palm oil producer, with a total land area of 2.89 million until 2021. The results of harvesting coconuts will produce waste, i.e., oil palm shells. Oil palm shells can be treated with pyrolysis technology. In the pyrolysis process, three products are produced: liquid, solid (biochar), and oil products (bio-oil). In this study, the pyrolysis product of oil palm shell waste in the form of biochar was used as raw material to produce bio-briquettes. Producing bio-briquettes resulted from pulverized biochar pyrolysis, mixed with tapioca flour adhesive with a percentage of 4% and 8%. Then, the biochar mixture with adhesive was put in a mold and compressed. The results of the bio-briquettes were tested for water content, ash content, volatile matter content, and calorific value. The test results were compared with the Indonesian National Standard (SNI) 01-6235 2000. The research results on bio briquettes from the pyrolysis of palm oil shell waste showed the best results at 4% reactant content with 4.45% water content, 5.1% ash content, volatile matter content 40.40%, and the calorific value was 5,999.93 cal/gram.

ABSTRAK

Sumber energi fosil merupakan sumber energi yang tidak dapat diperbaharui dan suatu saat nanti akan mengalami kelangkaan karena bertambahnya jumlah penduduk, maka perlu dicari energi alternatif. Beberapa energi alternatif yang bisa menggantikan bahan bakar fosil adalah air, energi matahari, angin, energi termal dan energi biomassa. Energi biomassa dari perkebunan salah satunya adalah biomassa dari limbah perkebunan kelapa sawit. Provinsi Riau sebagai penghasil kelapa sawit terbesar di Indonesia dengan luas lahan sampai tahun 2021 seluas 2.89 juta. Dari hasil pemanenan buah kelapa akan menghasilkan limbah yaitu cangkang kelapa sawit. Limbah cangkang bisa diolah dengan teknologi pirolisis. Dalam proses pirolisis ada tiga produk yang dihasilkan yaitu produk cair (*liquid*), padat (*biochar*) dan produk minyak (*bio-oil*). Dalam penelitian ini, produk pirolisis limbah cangkang kelapa sawit dalam bentuk biochar telah dimanfaatkan sebagai bahan baku bio-briket. Metode pembuatan bio-briket yaitu hasil pirolisis *biochar* dihaluskan, dicampurkan dengan perekat tepung tapioka dengan persentase 4 % dan 8%. Kemudian campuran biochar dengan perekat dimasukkan dalam cetakan dan dikempa. Hasil bio-briket dilakukan pengujian kadar air, kadar abu, kadar zat terbang dan nilai kalor. Hasil pengujian dibandingkan dengan Standar Nasional Indonesia SNI 01-6235 2000. Hasil penelitian bio-briket dari hasil pirolisis limbah cangkang kelapa sawit menunjukkan hasil terbaik pada kadar pereaksi 4 % dengan kadar air 4.45%, kadar abu 5.1 %, kadar zat terbang 40.40 % dan nilai kalor 5,999.93 cal/gram.

*Corresponding author

E-mail: rinafahutan@unilak.ac.id

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi nasional hingga tahun 2050 terus meningkat sesuai dengan pertumbuhan ekonomi, penduduk, harga energi, dan kebijakan pemerintah. Menurut ESDM (2019), pangsa kebutuhan energi final terbesar pada tahun 2050 adalah bahan bakar minyak (BBM) yakni sebesar 40.1%, diikuti oleh listrik (21.3%), gas (17.7%), batubara (11.0%), dan sisanya LPG, bahan bakar nabati (BBN) dan biomassa masing-masing di bawah 4%. Mayoritas sumber energi tersebut berasal dari bahan bakar fosil yang memiliki banyak masalah berkaitan dengan isu-isu lingkungan. Sehingga banyak penelitian saat ini bergeser dengan melakukan pemanfaatan bahan bakar non-fosil yang lebih ramah lingkungan dan bersifat terbarukan (Purnama et al., 2018; Yao et al., 2015; Yanti et al., 2018). Salah satu sumber energi alternatif yang melimpah adalah biomassa. Sumber energi biomassa sudah mulai dikembangkan yang berasal dari biomassa pertanian, kehutanan, dan biomassa perkebunan.

Indonesia merupakan negara dengan perkebunan kelapa sawit terluas di dunia. Tahun 2021 luas perkebunan kelapa sawit di Indonesia mencapai 15.5 juta ha dan luas perkebunan kelapa sawit di Provinsi Riau adalah 2.89 juta hektar (BPS 2021). Peningkatan luas perkebunan kelapa sawit (PKS) berimplikasi pada peningkatan jumlah limbah biomassa yang dihasilkan. Biomassa perkebunan kelapa sawit dimanfaatkan untuk berbagai keperluan seperti tandan kosong kelapa sawit (TKKS) untuk pupuk kompos, biochar serta batang dan pelepah dimanfaatkan untuk kompos, pakan ternak, cangkang dan serat sebagai bahan bakar *boiler* di industri pabrik kelapa sawit (PKS). Menurut (Yanti & Hutasuhut, 2020) jumlah limbah perkebunan kelapa sawit ± 20 juta ton pada tahun 2019. Meskipun dimanfaatkan sebagai bahan bakar tetapi masih tidak ramah lingkungan, karena terjadi pembakaran tidak sempurna yang menghasilkan asap dan debu. Produksi 1 ton tandan buah segar (TBS) di areal perkebunan akan menghasilkan limbah padat berupa TKKS 23%, cangkang 5.5%, serat 13.5%, sedangkan limbah yang berasal dari kebun berupa batang hasil *replanting* 70% dari 40.1 ton/ha dan pelepah 27.03% dari 10.4 ton/ha (Abnisa et al., 2013).

Salah satu teknologi pengolahan limbah perkebunan kelapa sawit adalah dengan menggunakan teknologi pirolisis. Pirolisis cepat adalah dekomposisi termal senyawa organik secara cepat (dengan waktu tinggal 1 detik) dengan suhu 400-600 °C dalam ketiadaan oksigen (Basu 2013). Produk pirolisis adalah biochar, cairan dan gas (Yanti et al., 2018). biochar dari produk pirolisis dimanfaatkan sebagai bahan baku bio-briket. Bio-briket merupakan bahan bakar padat dari bahan organik yang mengandung karbon, nilai kalor tinggi, dapat menyala dalam waktu lama, sebagai bahan bakar pengganti gas dan batu bara (Abnisa et al., 2013). Biomassa sebenarnya dapat digunakan secara langsung sebagai sumber energi panas untuk bahan bakar, tetapi kurang efisien karena kepadatannya kecil. Nilai kalor bahan bakar biomassa hanya sekitar 3.000 kalori (Sukiran et al., 2017; Fauzianto, 2014). Selama ini biomassa yang dimanfaatkan untuk bio-briket adalah limbah perkebunan, pertanian dan kehutanan (Chen et al., 2017; Hasfianti et al., 2019). Penelitian sebelumnya menggunakan produk arang dari proses pembakaran dijadikan bio-briket. Seperti penelitian Mulyadi et al. (2013) menggunakan kulit batang nipah menjadi bio-briket. Peneliti ini menggunakan bahan baku dari produk pirolisis yaitu biochar.

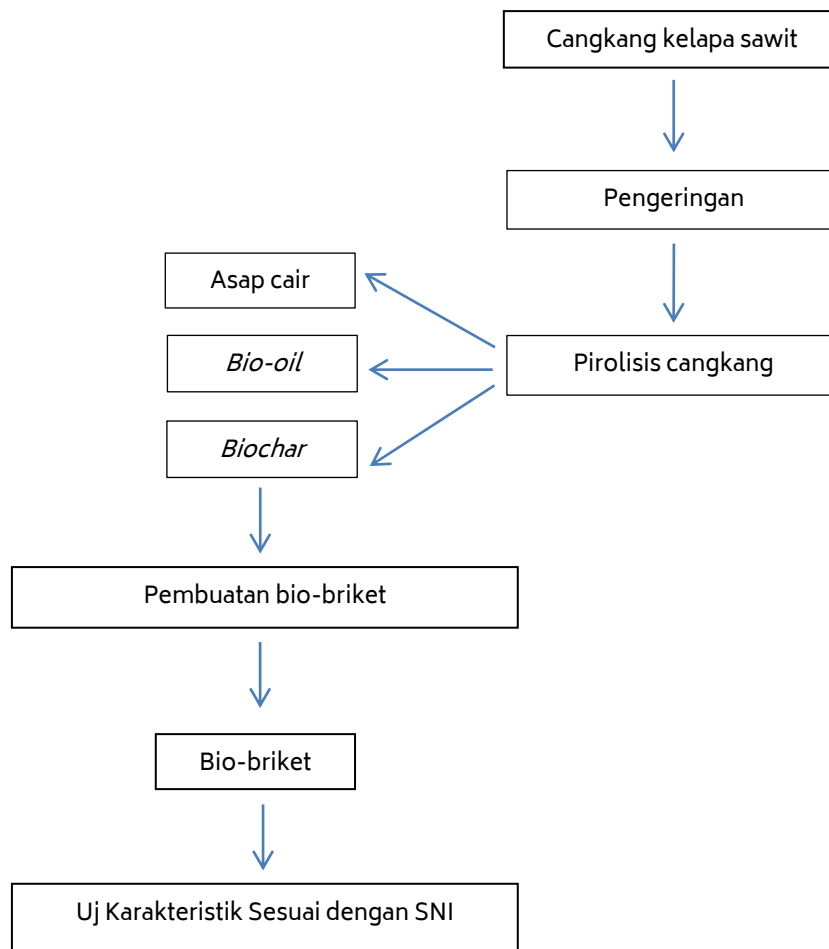
Biomassa sawit yang dimanfaatkan dalam penelitian ini adalah limbah cangkang kelapa sawit. Limbah cangkang sawit berpotensi sebagai bahan baku bio-briket karena memiliki nilai kalor yang tinggi yaitu 19.57 MJ/Kg, lebih tinggi dari limbah padat kelapa sawit yang lain yang bernilai dibawah 18 MJ/Kg (Yanti et al., 2018). Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik bio-briket cangkang kelapa sawit yang meliputi kadar air, kadar zat terbang, kadar abu, kerapatan dan nilai kalor yang mengacu pada Standar Nasional Indonesia 01-6235 2000 (BSN 2000).

METODE PENELITIAN

Proses densifikasi

Arang hasil pirolisis dilakukan proses penghancuran (*crushing*) sehingga diperoleh serbuk arang dengan ukuran lolos saringan 30 mesh tertahan di saringan 40 mesh. Proses densifikasi dilakukan dengan pencampuran serbuk cangkang

lolos saringan 30 mesh, dengan 4 % dan 8 % berat kering tepung tapioka sebagai perekat yang terlebih dahulu dicampur dengan air bersuhu 80°C dengan perbandingan 1 : 1. Hasil penelitian Faiza et al. (2019) dengan bahan baku limbah kayu gelam menghasilkan kualitas briket terbaik pada kadar perekat 4% dan 8%.



Gambar 1. Bagan alir dalam penelitian ini

Pembuatan bio-briket

Produk pirolisis cangkang kelapa sawit yaitu biochar dimanfaatkan sebagai bahan bio-briket. Pembuatan bio-briket dilakukan mulai dari proses penyiapan bahan baku, proses pengarangan, proses *crushing*, pengayakan, hingga persiapan pencetakan serbuk arang menjadi bio-briket. Biochar hasil pirolisis dilakukan penghancuran (*crushing*) sehingga diperoleh serbuk arang. Serbuk arang dari masing-masing bahan disaring dengan ayakan 30 mesh sebelum akhirnya dicetak menjadi bio-briket. Pada penelitian ini diberikan dua variasi berat perekat yakni sebesar 4% dan 8% dari berat serbuk arang yang akan digunakan. Proses pembuatan bio-briket dilakukan menggunakan alat pencetak bio-briket yang telah dilengkapi dengan pengatur tekanan (*pressure gauge hydraulic*). Prototipe ini terdiri dari cetakan dan alat pencetak berupa plat baja yang digerakkan secara hidraulis dengan tekanan 5000 kg/cm². Proses pencetakan bio-briket dilakukan selama 20 menit dan dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali dengan menggabungkan variasi bahan, perekat. Bio-briket yang telah dicetak dilakukan proses pengeringan dengan oven pada suhu 60°C selama kurang lebih 24 jam dan setelahnya dilakukan pengujian.

Pengujian karakteristik

Pengujian karakteristik yang dilakukan adalah kadar air, kadar abu, kadar zat terbang, nilai kalor, kerapatan dan hasil pengujian dibandingkan dengan Standar Nasional Indonesia SNI 01-6235 tahun 2000. Adapun pengujian yang dilakukan adalah :

a. Kadar Air

Penetapan kadar air ditentukan berdasarkan persamaan berikut :

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{a-b}{a} \times 100\% \quad (1)$$

dimana :

a = berat cawan + sampel sebelum dioven (g)

b = berat cawan + sampel setelah dioven (g)

b. Kadar zar terbang (KZT) dan kadar abu

Penetapan kadar zat terbang (KZT) dan kadar abu ditentukan berdasarkan persamaan berikut :

$$\text{KZT (\%)} = \frac{\text{massa awal} - \text{massa setelah pemanasan}}{\text{massa awal bio-briket}} \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{Kadar abu (\%)} = \frac{\text{massa bio-briket setelah pemanasan}}{\text{massa awal bio-briket}} \times 100\% \quad (3)$$

dimana semua massa dalam satuan g.

c. Nilai kalor

Nilai kalor diukur dengan menggunakan alat *bomb calorimeter*. Perhitungan nilai kalor dilakukan sesuai dengan standar SNI 01-6235 tahun 2000 dengan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Hg (cal/g)} = (t.w - I_1 - I_2 - I_3) / M \quad (4)$$

dimana :

Hg = kalori per gram contoh (cal/g)

t = kenaikan temperatur pada termometer

w = 2426 kalori/°C

I₁ = ml natrium karbonat yang terpakai untuk titrasi

I₂ = 13.7 × 1.02 × berat contoh

I₃ = 2.3 × panjang fuse wire yang terbakar

M = berat contoh (g)

d. Kerapatan

$$\text{Kerapatan} = \frac{\text{berat (g)}}{\text{volume (cm}^3\text{)}} \quad (5)$$



Gambar 2. Proses pirolisis biochar cangkang kelapa sawit

Produk Pirolisis

Pada penelitian ini dilakukan proses pirolisis dengan teknologi yang sederhana, yaitu pemanasan dengan menggunakan kompor gas seperti pada Gambar 2. Hasil dari pirolisis menghasilkan biochar dan asap cair. Fokus penelitian ini adalah memanfaatkan produk biochar untuk bio-briket sebagai bahan energi alternative.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian kualitas bio-briket cangkang kelapa sawit yang dihasilkan berupa sifat fisik kemudian dibandingkan dengan standar mutu bio-briket SNI 01-6235 tahun 2000, seperti yang terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Karakteristik Bio-briket Cangkang Kelapa Sawit

Pengujian	Perlakuan Kadar Perekat		SNI 01-6235 Tahun 2000
	4%	8%	
Kadar Air (%)	4.45	4.01	≤ 8
Kadar Abu (%)	5.11	5.38	≤ 8
Kadar Zat Terbang (%)	40.49	43.50	15
Nilai Kalor (cal/g)	5,999	5,807	≥ 5,000

Kadar air

Hasil pengujian kadar air bio-briket adalah nilai kadar air memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI) yaitu kecil dari 8%. Kadar air dipengaruhi oleh proses pirolisis dimana dipengaruhi oleh suhu yang digunakan serta lama waktu proses pirolisis (Wibowo et al., 2010). Rendahnya kadar air pada penelitian ini disebabkan karena biochar hasil pirolisis menghasilkan kadar air 6% dan setelah menjadi briket kadar air menjadi 8% karena adanya penambahan perekat. Nilai kadar air yang rendah akan menghasilkan nilai kalori yang lebih tinggi, karena bio-briket bersifat mikroskopis. Besar kecilnya kadar air yang dihasilkan disebabkan oleh sifat higroskopis dari bio-briket, dimana bio-briket akan mudah menyerap dan melepaskan air, sehingga pada waktu proses penyimpanan, uap air dari udara terserap ke dalam bio-briket (Pari, 2006). Pengaruh kadar air yang terkandung di dalam bio-briket akan menyebabkan waktu yang dibutuhkan untuk penyalaan bio-briket. Waktu penyalaan yang lama akan menghasilkan kualitas bio-briket yang baik (Hendra et al., 2014). Dimana proses pembakaran akan melepaskan air terlebih dahulu kemudian baru diikuti dengan pembakaran bahan. Dipengaruhi oleh faktor proses karbonisasi dimana proses karbonisasi dipengaruhi oleh jumlah udara, suhu yang digunakan serta lama waktu proses karbonisasi (Wibowo et al., 2010).

Kadar air juga dipengaruhi oleh proses selama pirolisis, dimana suhu dan jumlah udara yang terperangkap di dalam reaktor. Suhu yang maksimal dan semakin sedikit udara yang terperangkap akan menyebabkan semakin kecilnya kadar air yang dihasilkan saat karbonisasi pirolisis. Besarnya kadar air pada bio-briket dapat dipengaruhi oleh faktor proses karbonisasi dimana proses karbonisasi dipengaruhi oleh jumlah udara, suhu yang digunakan serta lama waktu proses pirolisis (Wibowo et al., 2010).



Gambar 3. Bio-briket dari cangkang sawit hasil pirolisis biochar

Kadar abu

Nilai kadar abu hasil penelitian ini yaitu 5.1% pada perekat 4% dan 5.38% pada perekat 8%, nilai ini masih memenuhi SNI yaitu kecil dari 8%. Nilai kadar abu diperoleh dengan memanaskan bio-briket di dalam tanur dengan suhu 950°C tanpa kontak dengan udara selama 6 jam. Selisih kehilangan berat yang disebabkan di dalam bio-briket setelah pemanasan 950°C karena kehilangan kandungan gas seperti H₂, CO, CO₂, CH₄, dan uap serta sebagian air (Pari, 2010). Nilai kadar abu pada hasil penelitian ini mempunyai nilai lebih besar dari standar yang ditetapkan, dimana nilai zat terbang masih lebih besar yaitu > 40%. Tingginya nilai kadar abu dipengaruhi oleh proses ketika proses karbonisasi. Faktor yang mempengaruhinya yakni besarnya suhu yang digunakan dan lamanya waktu pada proses karbonisasi. Dalam penelitian ini proses karbonisasi dilakukan dengan cara pirolisis menggunakan pemanas yaitu gas. Panas yang dihasilkan tidak maksimal seperti panas yang dihasilkan dari tenaga listrik. Lamanya proses karbonisasi juga mempengaruhi nilai zat terbang dimana terjadinya proses oksidasi (penguraian) unsur-unsur yang terdapat di dalam bahan baku arang. Proses oksidasi berlangsung sempurna jika selama proses pirolisis suhu stabil dan maksimal (Abnisa et al, 2013).

Kandungan kadar abu yang tinggi akan lebih mempercepat pembakaran bahan karbon dan sebaliknya. Rasio antara kandungan zat terbang dinyatakan sebagai fuel ratio. Semakin tinggi fuel ratio maka jumlah karbon yang tidak terbakar semakin banyak (Thoha & Fajrin, 2010). Perbedaan konsentrasi perekat yang diberikan pada proses pembentukan bio-briket menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi perekat yang diberikan menghasilkan kadar zat terbang yang semakin besar pula. Nilai kadar abu dalam penelitian ini masih lebih tinggi dari SNI akan menyebabkan kandungan karbon akan semakin rendah dan asap yang ditimbulkan saat pembakaran semakin banyak dan akan menurunkan nilai kalor yang dihasilkan.

Kadar zat terbang

Kadar zat terbang pada hasil penelitian ini mempunyai nilai lebih besar dari standar yang ditetapkan, dimana nilai zat terbang masih lebih besar dari 15%. Besarnya kadar zat terbang pada briket yang dihasilkan juga dipengaruhi pula oleh proses karbonisasi. Faktor yang mempengaruhinya yakni besarnya suhu yang digunakan dan lamanya waktu pada proses karbonisasi. Dalam penelitian ini proses karbonisasi dilakukan dengan cara pirolisis menggunakan bahan pemanas yaitu gas LPG. Lamanya proses karbonisasi yaitu 4 jam akan menyebabkan penguraian unsur-unsur yang terdapat di dalam bahan baku berlangsung sempurna sehingga dapat menaikkan kadar zat terbang. Kadar zat terbang dalam penelitian ini masih lebih tinggi dari SNI 01-6235 tahun 2000. Hal ini berarti kandungan karbon dalam bio-briket rendah dan jika dibakar akan banyak mengeluarkan asap. Semakin tinggi nilai kadar zat terbang berarti semakin susah untuk terbakar. Kadar zat terbang juga dipengaruhi oleh konsentrasi perekat yang diberikan. Semakin banyak persentase perekat yang digunakan semakin tinggi kadar zat terbang. Kadar zat terbang juga ditentukan dengan kehilangan berat yang terjadi bila briket dipanaskan tanpa kontak dengan udara pada suhu lebih kurang 950°C dengan laju pemanasan tertentu. Kehilangan berat ini merupakan hilangnya kandungan gas seperti H₂, CO, CO₂, CH₄, dan uap serta sebagian air (Pari, 2010).

Nilai kalor

Nilai kalor bio-briket hasil penelitian ini baik kadar perekat 4% maupun kadar perekat 8% menunjukan nilai yang lebih besar di SNI yaitu besar dari 5000 gram/cal. Namun hasil yang terbaik dari kadar perekat yang digunakan adalah kadar perekat 4% yaitu 5.999 gram/cal. Kadar perekat 4% lebih baik dari 8% karena semakin tinggi kadar perekat akan menyebabkan kadar air, kadar abu dan kadar zat terbang menjadi tinggi sehingga menyebabkan penurunan nilai kalor (Rahmadani et al., 2017).

Nilai kalor yang tinggi akan meningkatkan kualitas bio-briket karena asap yang dihasilkan sedikit dan waktu pembakaran maksimal. Suhu selama proses karbonisasi ikut mempengaruhi nilai kalor yang dihasilkan. Nilai kalor hasil penelitian (Hasfianti, 2019) pada bahan baku kayu galam menghasilkan nilai > 6000 cal/gram. Hal ini disebabkan karena proses karbonisasi menggunakan energi listrik dengan suhu maksimal 450 °C, yang berbeda dengan hasil penelitian ini proses

karbonisasi menggunakan energi gas dengan suhu tidak maksimal antara 200-300°C. Komposisi perekat juga ikut mempengaruhi nilai kalor, semakin tinggi konsentrasi perekat yang digunakan maka semakin rendah nilai kalor yang dihasilkan dan lama pembakaran tidak maksimal. Sebaliknya menyebabkan kadar air, kadar abu, kadar zat terbang juga semakin tinggi jika konsentrasi perekat yang diberikan tinggi (Hendra, 2011).

Kerapatan

Kerapatan bio-briket hasil penelitian ini adalah 0.8 gram/cm³ dan 0.87 gram/cm³ untuk masing-masing untuk kadar perekat 4% dan 8%. Meningkatnya kadar perekat yang diberikan akan meningkatkan kerapatan briket yang dihasilkan. Hal ini disebabkan oleh kadar perekat dapat meningkatkan ikatan antar serbuk arang (Hendra, 2011). Kerapatan bio-briket juga dipengaruhi oleh keseragaman ukuran serbuk, karena pada saat proses pengempaan serbuk akan saling bersusun atau disebut *compaction ratio* (Bouyer *et.al.*, 2003), sehingga kepadatan bio-briket akan semakin meningkat.

KESIMPULAN

Pembuatan bio-briket dapat dilakukan dengan memanfaatkan hasil pirolisis biochar cangkang kelapa sawit. Karakterisasi bio-briket dari hasil pirolisis biochar cangkang kelapa sawit adalah kadar air, nilai kalor, kadar abu, dan kadar zat terbang. Secara umum, produk bio-briket yang dihasilkan salam studi ini telah memenuhi persyaratan SNI 01-6235 tahun 2000, walau perlu dilakukan penelitian lanjutan dalam menurunkan kadar zat terbang. Kerapatan biobriket yang dihasilkan yaitu 0.8 gram/cm³ termasuk berkerapatan sedang.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Universitas Lancang Kuning atas pendanaan yang diberikan sehingga penelitian ini terlaksana

DAFTAR PUSTAKA

- Abnisa, F., Arami-Niya, A., Wan Daud, W. M. A., Sahu, J. N., & Noor, I. M. (2013). Utilization of oil palm tree residues to produce bio-oil and bio-char via pyrolysis. *Energy Conversion and Management*, 76, 1073–1082. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.08.038>.
- Badan Standardisasi Nasional Indonesia. (2000). Bio briket arang kayu (SNI No. 01-6235-2000). Indonesia. Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Pusat Statistik. (2021). Statistik kelapa sawit indonesia (BPS nomor publikasi 05100.2111). Indonesia. Badan Pusat Statistik.
- Basu, P. 2013. *Biomass gasification, pyrolysis and torrefaction-practical design and theory, second edition*. Academic Press. San Diego. 87-145.
- Bowyer, J.L., Shmulsky, Haygreen, J.G. 2003. *Forest products and wood science - an introduction, fourth edition*. Iowa State University Press.
- Chen, Y.C., Chen, W.H., Lin, B.J., Chang, J.S., and Ong, H. C. (2017). Fuel property variation of biomass undergoing torrefaction. *Energy Procedia*, 105, 108–112.
- Fauzianto, R. (2014). Implementation of bioenergy from palm oil waste in Indonesia. *Sustain. Dev. Stud*, 5, 100–115.
- Hasfianti, F.E., Sriningsih, E., dan Subhanuddin, D. (2019). Kualitas bio briket limbah tebangannya kayu galam sebagai sumber energi alternatif. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 37(3), 223-232.
- Hendra, D. (2011). Pemanfaatan enceng gondok (*Eichornia crassipes*) untuk bahan baku bio briket sebagai bahan bakar alternatif. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 29(2), 189–210.
- Ismayana, A., & Afriyanto, M. R. (2011). Pengaruh jenis dan kadar bahan perekat pada pembuatan bio briket blotong sebagai bahan bakar alternatif. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 21(3), 186–193.
- Mulyadi, A., Dewi, I., & Deoranto, P. (2013). Utilization of nypa (*Nypa fruticans*) bark for making biocharcoal briquette as alternative of energy sources. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 14(1), 65–72. doi: 10.1007/s12020-010- 9391-8

- Pari, G. (2010). Peran dan masa depan arang yang prospektif untuk Indonesia. Kementrian kehutanan badan penelitian dan pengembangan kehutanan pusat penelitian dan pengembangan hasil hutan. Orasi Ilmiah Peneliti Utama. (ID).
- Purnama, I., Kubo, Y., & Mulyana, J. Y. (2018). A robust ruthenium complex with nonyl-substituted bpy ligand for dye-sensitized photoelectrochemical cell application. *Inorganica Chimica Acta*, 471. <https://doi.org/10.1016/j.ica.2017.11.052>
- Rahmadani, Hamzah, F., & Hamzah, F. H. (2017). Pembuatan briket arang daun kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) dengan perekat pati sago (*Metroxylon sago* Rott.). *Jom Faperta Universitas Riau*, 4(1), 1–11.
- Sukiran, M. A., Abnisa, F., Wan Daud, W. M. A., Abu Bakar N, and Loh, S. K. (2017). A review of torrefaction of oil palm solid wastes for biofuel production. *Energy Convers. Manag*, 149, 101–120.
- Thoha, M. Y., & Fajrin, D. E. (2010). Pembuatan bio briket arang dari daun jati dengan sago aren sebagai pengikat. *Jurnal Teknik Kimia*, 17(1), 34–43.
- Wibowo, S. W., Syafii, W., dan G. Pari. (2010). Karakteristik arang aktif tempurung biji Nyamplung. *Jurnal Penelitian Hasil Hasil Hutan*, 28, 43-54.
- Yanti, R.N., & Hutasuhut, I. L. (2020). Potensi limbah padat perkebunan kelapa sawit di Provinsi Riau. *Wahana Forestra: Jurnal Kehutanan*, 15(2), 1–11. <https://doi.org/10.31849/forestra.v15i2.4696>
- Yanti, R. N., Hambali, E., Pari, G., & Suryani, A. (2018). The characteristics of palm oil plantation solid biomass wastes as raw material for bio oil. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 141(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/141/1/012038>
- Yao, T., Khanh Nguyen, H. T., Mutamima, A., Maki, T., Guo, Y., Sakurai, M., & Kameyama, H. (2015). Steam reforming of ethanol over electrically-heated anodic aluminum catalysts for hydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy*, 40(35), 11863–11871. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2015.05.028>