

Pengaruh Komposisi Arang Ampas Tebu dan Abu Ketel Terhadap Kualitas Bio-Briket Arang

The Effect of Compositions of Sugarcane Bagasse Charcoal and Boiler Ash on the Charcoal Bio-Briquette Quality

Simping Yuliatun¹⁾, Muzdalifah²⁾
dan Etti Nurfiti²⁾

- 1) Pusat Penelitian Perkebunan Gula Indonesia, Pasuruan
2) Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Surabaya

Email: simping7@gmail.com

ABSTRAK

Ampas tebu sebagai sumber energi untuk boiler di pabrik gula menyisakan limbah berupa abu. Di sisi lain, pembakaran ampas tebu secara pirolisis dapat meningkatkan nilai kalori dari ampas tebu. Abu ketel dan arang ampas tebu dapat digunakan untuk bahan baku pembuatan bio-briket arang. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh komposisi bio-briket arang terhadap kualitasnya. Proses pembuatan bio-briket arang diawali dengan proses pirolisis ampas tebu pada suhu 300 °C selama 15 menit untuk mendapatkan arang ampas tebu. Arang ampas tebu dan abu ketel (*boiler ash*) ukuran 20 mesh dicampurkan dengan perbandingan antara arang ampas tebu dan abu ketel berturut-turut 10:0 ; 7:3 ; 5:5 ; 3:7 ; 0:10, serta menggunakan perekat vinase dengan perbandingan 1,0 : 1,1 b/b. Campuran homogen dicetak menggunakan pencetak briket berbentuk silinder dengan panjang 18-28 mm dan diameter 35 mm. Bio-briket arang dikeringkan di bawah sinar matahari selama 24 jam. Kualitas bio-briket arang ditentukan melalui analisis kadar air, kadar abu, kerapatan dan nilai kalornya. Analisis dan pengukuran dilakukan dengan 2 kali ulangan. Hasil penelitian menunjukkan bio-briket terbaik diperoleh pada komposisi bahan 100% arang ampas tebu yaitu menghasilkan nilai kalor 5.553 kal/g, kadar air 3,58%, kerapatan 0,47 g/cm³, dan kadar abu 11,33%.

Kata kunci : ampas tebu, pirolisis, arang ampas tebu, abu ketel, bio-briket arang

ABSTRACT

Bagasse as an energy source for boilers in sugar factories which have waste in the form of boiler ash. On the other hand, pyrolysis process for sugarcane bagasse could increase the calorific value of bagasse. Boiler ash and sugarcane bagasse charcoal can be used as raw materials for bio-charcoal briquettes. This study aims to determine the effect of the composition of charcoal bio-briquettes on its quality. The process of making bio-briquette charcoal begun with pyrolysis of sugarcane bagasse at 300 °C for 15 minutes to obtain bagasse charcoal. Twenty mesh size of bagasse charcoal and boiler ash were mixed with a ratio of 10:0; 7:3 ; 5:5 ; 3:7 ; 0:10 respectively, and using vinasse as adhesive with a ratio of 1.0 : 1.1 w/w. The briquettes were cylindrical with a diameter of 35 mm and height ranging from 18 to 28 mm. Charcoal bio-briquettes were dried in the sun for 24 hours. The quality of bio-briquettes were then analyzed for water content, ash content, density and calorific value. Analysis and

measurements were carried out for two samples (duplicates). The best bio-briquette results were obtained with a composition of 100% sugarcane bagasse charcoal which had a calorific value of 5,553 cal/g, a moisture content of 3.58%, a density of 0.47 g/cm³, and an ash content of 11.33%.

Key words: sugarcane bagasse, pyrolysis, sugarcane bagasse charcoal, boiler ash, charcoal bio-briquette

PENDAHULUAN

Sumber energi alternatif seperti bahan bakar briket (*fuel briquettes*) masih dicari dan diperlukan bahkan untuk penduduk kota. Untuk menekan kebutuhan biaya pemakaian energi secara keseluruhan (Pilusa *et al.*, 2013). Menurut Teixeira *et al.* (2010) briket arang dari abu layang ampas tebu merupakan bahan bakar alternatif yang bersumber dari bahan bakar terbarukan. Penggunaannya dapat mengurangi deforestasi yang diakibatkan oleh produksi arang kayu atau kayu bakar dari hutan.

Proses pembuatan briket arang dapat dilakukan dengan 4 tahap yaitu pirolisis, pencampuran, pencetakan, dan pengeringan. Ada tiga jenis proses pembuatan arang dari biomassa yaitu pirolisis, torefaksi dan karbonasi. Pirolisis merupakan proses dekomposisi biomassa yang terjadi tanpa atau dengan sedikit oksigen. Pirolisis menguraikan biomassa menjadi gas, cair dan padat yang terjadi pada suhu antara 300-600 °C. Terdapat dua jenis pirolisis, yaitu pirolisis cepat dan pirolisis lambat. Pirolisis cepat menghasilkan bahan bakar cair (bio minyak), sedangkan pirolisis lambat menghasilkan beberapa gas dan arang padat.

Torefaksi merupakan pirolisis lambat dengan menggunakan suhu pada kisaran 200-300 °C. Torefaksi dapat meningkatkan nilai energi biomassa. Karbonasi merupakan salah satu metode untuk mengolah biomassa menjadi bahan bakar padat berupa arang. Karbonasi bertujuan untuk memaksimalkan karbon dan meminimalkan kandungan hidrokarbon dari produk padat. Karbonasi bekerja pada suhu 300-500 °C menghasilkan lebih banyak

bahan bakar padat daripada torefaksi, tetapi memiliki hasil energi yang lebih rendah (Basu, 2013). Karbonasi akan menyebabkan terjadinya dekomposisi material organik bahan baku. Sebagian besar unsur non-karbon akan hilang pada tahap karbonasi. Pelepasan unsur-unsur yang *volatile* (mudah menguap) akan membuat struktur pori-pori mulai terbuka (Putra *et al.*, 2017).

Tahapan yang penting dalam pembuatan briket arang adalah tahap pencampuran. Pada tahap ini terjadi pencampuran antara bahan baku dan perekat. Perekat berfungsi merekatkan partikel-partikel bahan baku agar menyatu. Arang dan perekat dicampurkan merata ke seluruh bagian, selanjutnya campuran dicetak (Meincken & Funk, 2015).

Adonan briket yang telah siap cetak dimasukkan ke dalam cetakan berupa besi pipa, kemudian silinder pencetak ditekan menggunakan dongkrak hidrolis yang menekan cetakan hingga menjadi lebih padat, dengan plat penahan cetakan dibuka sehingga cetakan jatuh ke wadah penampungan, dan pegas digunakan sebagai penahan tekanan yang diberikan dongkrak (Meincken & Funk, 2015).

Tahap pengeringan merupakan proses untuk menghilangkan kadar air dalam bio-briket. Hal ini dikarenakan briket yang baru dicetak masih mengandung banyak air, sehingga perlu dikeringkan supaya membesarkan nilai kalor pembakaran (Barir, 2020).

Jenis/kualitas bahan baku dan proporsi dalam komposisi berpengaruh terhadap nilai kalori briket arang (Chou *et al.*, 2009; Shiferaw *et al.*, 2017). Briket arang memiliki nilai kalori lebih tinggi dari serbuk kayunya dengan menggunakan gum

arang sebagai pengikat (Njenga *et al.*, 2013). Teixeira *et al.* (2010) memanfaatkan abu layang dari ampas tebu dengan ukuran lebih dari 120 mesh untuk pembuatan briket arang. Briket dari abu layang ampas tebu diperoleh dengan menambahkan perekat (*binder*) pati tapioka sebanyak 8%. Briket ini memiliki kerapatan 1,12 g/cm³ dan nilai kalor sebesar 25,551 kJ/kg atau 6.106 kal/g.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kualitas briket arang dari arang ampas tebu dan abu ketel (*boiler ash*) sebagai sumber bahan bakar alternatif. Briket arang ini memanfaatkan vinase dari limbah produksi alkohol sebagai perekat.

METODE

Bahan utama yang digunakan adalah ampas tebu dari Laboratorium Pasca Panen Pusat Penelitian Perkebunan Gula Indonesia, abu ketel (*boiler ash*) diperoleh dari Pabrik Gula Kedawoeng, Kabupaten Pasuruan. Bahan perekat digunakan vinase yang diperoleh dari PT. Molindo Raya Industrial, Malang.

Alat yang digunakan antara lain: botol timbang, cawan aluminium, neraca analitik, *hot plate*, ayakan, oven, *furnace*, panci, kompor, gelas ukur, desikator, *bomb calorimeter*, cetakan briket (bentuk silinder), dan alat pencetak bio-briket.

Metode

Ampas tebu yang sudah kering diarangkan dengan metode pirolisis pada suhu 300 °C selama 15 menit. Arang ampas tebu hasil pirolisis diayak dengan ukuran 20 mesh. Pembuatan bio-briket dilakukan berdasar penelitian Anizar *et al.* (2020) yang telah dimodifikasi. Arang ampas tebu dan abu ketel yang berukuran 20 mesh dengan massa total 10 gram (Tabel 1.) dicampur dengan perekat vinase 11 gram diaduk hingga rata sehingga terbentuk adonan. Kemudian campuran tersebut dicetak menggunakan pipa besi berbentuk silinder dengan diameter 3,5 cm. Bio-briket yang telah dicetak selanjutnya dijemur di bawah matahari selama 24 jam. Percobaan ini dilakukan dengan 2 kali ulangan.

Tabel 1. Komposisi bio-briket arang ampas tebu dan abu ketel

Table 1. Bio-briquette compositions of sugarcane bagasse charcoal and boiler ash

Contoh Sample	Arang ampas tebu <i>Charcoal of sugarcane bagasse</i>	Abu ketel <i>Boiler ash</i>	Komposisi <i>Composition</i>
A	100%	0%	10:0
B	70%	30%	7:3
C	50%	50%	5:5
D	30%	70%	3:7
E	0%	100%	0:10

Arang ampas tebu dicampur dengan vinase sebagai perekat dengan perbandingan 1,0 : 1,1 b/b, selanjutnya dicetak menjadi bio-briket. Bio-briket dikeringkan dengan proses pengeringan di bawah sinar matahari selama 24 jam. Bio-briket selanjutnya dilakukan analisis kadar

air, kadar abu, nilai kalor dan kerapatan. Analisis kadar air dan kadar abu dilakukan dengan metode gravimetri (Anonim, 2000). Nilai kalor dianalisa menggunakan *bomb calorimeter* merk Parr (Anonim, 2000). Pengujian kerapatan dilakukan dengan penimbangan massa bio-briket dan

pengukuran volume bio-briket, sehingga kerapatan bio-briket dapat ditentukan dengan perhitungan pembagian massa briket dengan volumenya (Ariwidyanata, 2019).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses pembuatan arang ampas tebu pada penelitian ini dilakukan dengan metode pirolisis. Pirolisis merupakan proses dekomposisi biomassa yang terjadi tanpa atau dengan sedikit oksigen. Hasil pirolisis ampas tebu disajikan pada Tabel 2. Proses pirolisis ini menghasilkan arang ampas tebu serta hasil samping berupa ter dan asap cair. Dari 100 gram ampas tebu, setelah pirolisis diperoleh arang ampas tebu rata-rata sebesar 38,83 gram dengan deviasi rata-rata sebesar 2,77 gram, volume tar sebesar 22,58 ml dengan deviasi rata-rata

5,78 ml, dan volume asap cair sebesar 7,42 ml dengan deviasi rata-rata 3,18 ml.

Bahan baku briket arang berupa ampas tebu, arang ampas tebu, abu ketel, dan vinase dianalisis kadar air, kadar abu dan nilai kalor (Tabel 3). Tabel 3. menunjukkan kadar air terendah terdapat pada abu ketel sebesar 0,99% dan kadar air tertinggi pada ampas tebu sebesar 5,93% sebagai bahan padatan. Kadar air arang ampas tebu lebih kecil dibandingkan ampas tebu karena telah melalui proses pirolisis, dimana didapatkan kadar air sebesar 3,66%. Menurut Haji *et al.* (2010) akibat pirolisis terbentuk pori-pori pada permukaan arang yang menyebabkan sebagian kadar air menguap bersama molekul-molekul lainnya. Sedangkan kadar air vinase berupa cairan pada penelitian ini yaitu 45,50%.

Tabel 2. Hasil proses pirolisis ampas tebu

Table 2. Yield of sugarcane bagasse pyrolysis process

Berat ampas tebu (g) <i>Weight of sugarcane bagasse (g)</i>	Hasil pirolisis <i>Pyrolysis products</i>		
	Arang (g) <i>Charcoal (g)</i>	Ter (ml) <i>Tar (ml)</i>	Asap cair (ml) <i>Liquid smoke(ml)</i>
100	38,83±2,77	38,83±2,77	7,42±3,18

Tabel 3. Hasil analisa bahan baku briket arang

Table 3. Analysis of raw materials of charcoal briquette

Bahan baku <i>Raw materials</i>	Kadar air (%) <i>Moisture content (%)</i>	Kadar abu (%) <i>Ash content (%)</i>	Nilai kalor (kal/g) <i>Calorific value (cal/g)</i>
Ampas tebu <i>Sugarcane bagasse</i>	5,93	2,71	4.175,98
Arang ampas tebu <i>Charcoal of sugarcane bagasse</i>	3,66	10,07	5.978,08
Abu ketel <i>Boiler ash</i>	0,9990	84,72	1.409,12
Vinase <i>Vinasse</i>	45,50	6,01	993,87

Tabel 3. menunjukkan kadar abu terendah terdapat pada ampas tebu sebesar 2,71% dan kadar abu tertinggi pada abu ketel sebesar 84,72%. Kadar abu arang

ampas tebu sebesar 10,07%, nilai ini lebih rendah dibandingkan abu ketel.

Tabel 3 menunjukkan nilai kalor terendah dimiliki oleh abu ketel sebesar

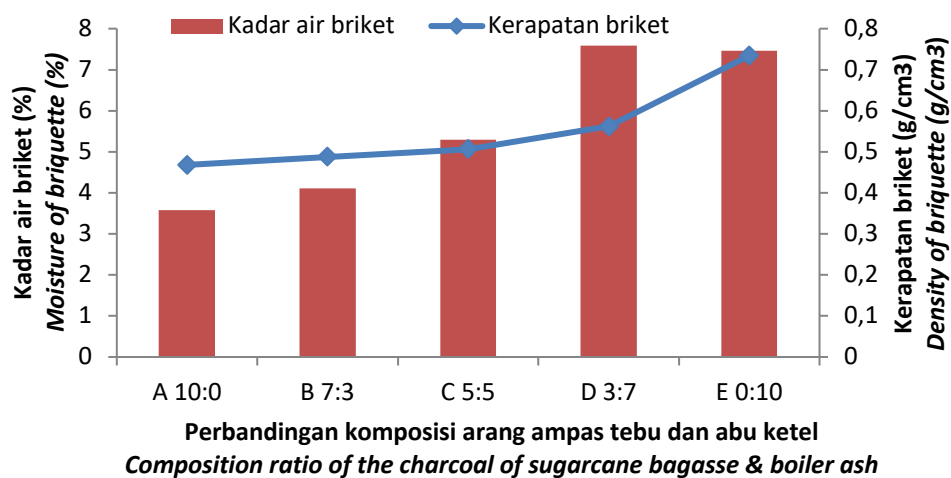
1409,12 kal/g dan nilai kalor tertinggi dimiliki oleh arang ampas tebu sebesar 5978,08 kal/g. Sutayasa dan Sanjaya (2016) melaporkan bahwa arang ampas tebu memiliki fasa kristalin dan memiliki karakter identik dengan material grafit. Sementara menurut Hanun *et al.* (2019), abu ketel memiliki kristanilitas yang bersifat amorf, dimana *amorf* memiliki ukuran pori-pori yang lebih besar dibandingkan dengan grafit. Pori-pori yang berukuran lebih besar dapat menurunkan nilai kalor. Pembuatan arang dari biomassa, selain menurunkan kandungan air dan bahan mudah menguap (*volatile matter*), juga akan meningkatkan kekompakan bahan dan juga nilai kalornya (Umar *et al.*, 2017).

Hubungan antara komposisi bahan dengan kadar air dan kerapatan briket

Perbedaan komposisi bahan-bahan penyusun briket arang mempengaruhi nilai kalor, kadar air, kerapatan (densitas) dan kadar abu. Nilai kalor briket arang berkorelasi positif dengan kadar air dan kerapatan partikel, tetapi berbanding terbalik dengan kadar abu briket arang (Giyanto & Sinaga, 2019).

Karakteristik pembakaran biomassa dipengaruhi oleh adanya kandungan air dalam bahan. Hubungan komposisi briket arang dengan kadar air disajikan pada Gambar 1. Semakin tinggi komponen abu ketel dalam menyusun briket arang, maka semakin tinggi kadar air pada briket tersebut. Sebaliknya semakin besar komponen arang ampas tebu maka kadar air briket semakin kecil. Kadar air merupakan parameter utama dalam penentuan kualitas briket, dimana semakin kecil kandungan air maka kualitas briket semakin bagus karena nilai kalornya semakin tinggi (Aina *et al.*, 2009).

Menurut Akowuah *et al.* (2012) kadar air dan kadar abu merupakan karakter fisika kimia yang penting untuk briket arang sebagai bahan bakar. Kualitas briket arang antara lain mudah dalam pengapian awal (*easy to ignite*), durasi waktu pembakaran yang lama dan keluaran (*output*) panas yang tinggi. Selain itu tidak dikehendaki terjadinya percikan-percikan api (*sparkless*), kadar abu yang rendah dan tidak mudah timbul asap (*smokeless*). Peningkatan kadar air pada briket arang berpengaruh pada menurunnya kekuatan tekan dan waktu yang diperlukan untuk penyalaan meningkat (Siritheerasas *et al.*, 2008).



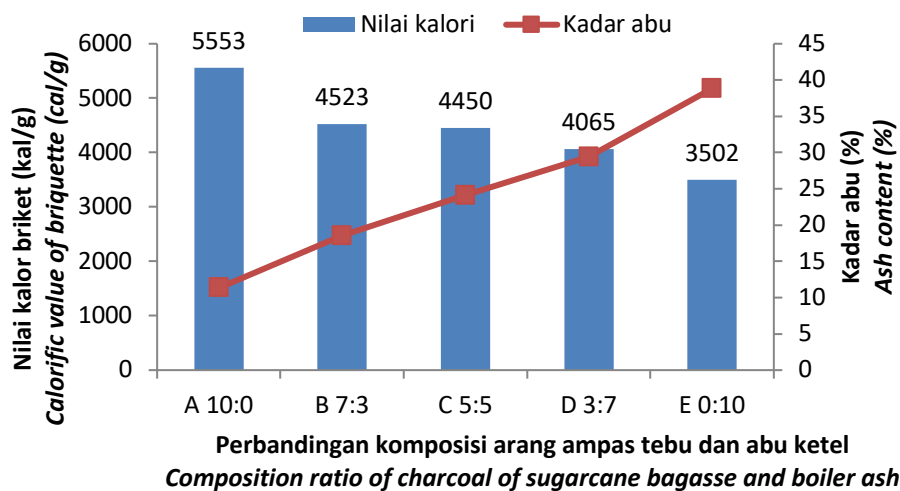
Gambar 1. Hubungan komposisi bahan penyusun dengan kadar air dan kerapatan briket

Figure 1. Relation of raw material compositions with moisture and density of charcoal briquettes

Variasi komposisi arang ampas tebu dan abu ketel memberikan tingkat kerapatan yang berbeda pada briket arang (Gambar 1). Kerapatan briket arang berkisar antar 0,468 g/cm³ hingga 0,734 g/cm³. Kerapatan briket arang meningkat dengan meningkatnya komponen abu ketel. Sebaliknya kerapatan menurun dengan meningkatnya komponen arang ampas tebu. Menurut Giyanto & Sinaga (2019) komposisi bahan-bahan penyusun briket arang berpengaruh terhadap tingkat kerapatan yang akan diperoleh pada briket arang tersebut.

Hubungan antara komposisi bahan terhadap nilai kalor dan kadar abu briket

Hubungan komposisi arang ampas tebu dan abu ketel terhadap nilai kalor briket disajikan pada Gambar 2. Peningkatan komposisi abu ketel akan meningkatkan nilai kalor briket arang. Namun demikian, komposisi arang ampas tebu berbanding linier dengan nilai kalor briket arangnya. Peningkatan kadar arang ampas tebu akan meningkatkan nilai kalor bio-briket



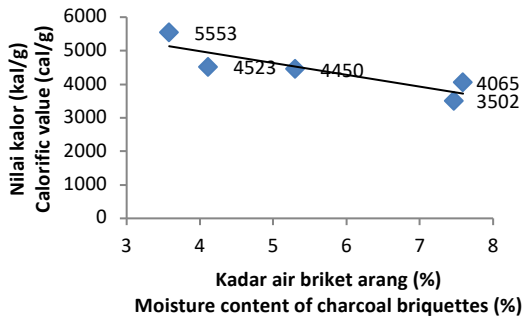
Gambar 2. Hubungan bahan penyusun dengan nilai kalor briket arang dan kadar abu
 Figure 2. Relation of raw material compositions with calorific values of charcoal briquettes and ash content

Hubungan komposisi bahan penyusun dan kadar abu briket arang disajikan pada Gambar 2. Semakin kecil komposisi arang ampas tebu dan semakin besar komposisi abu ketel, maka kadar abu briket meningkat. Komposisi briket menentukan sifat kimia briket arang (Apian *et al.*, 2020). Haryanti *et al.* (2018) melaporkan briket arang dengan kadar abu 0,3 -25% memiliki nilai kalor 4.749-6.621 kal/g.

Hubungan kadar air, kadar abu dan kerapatan bio briket terhadap nilai kalornya

Kadar air, bahan volatil, abu dan tingkat ikatan karbon dengan karbon mempengaruhi nilai energi pada briket. Semakin meningkat kadar air, bahan volatil dan abu semakin menurun nilai kalor briket arang dan sebaliknya. Ikatan karbon-dengan karbon yang makin kuat akan meningkatkan nilai kalor briket arang (Yuliah *et al.*, 2017). Komposisi briket menentukan sifat kimia briket arang (Apian *et al.*, 2020). Haryanti *et al.* (2018)

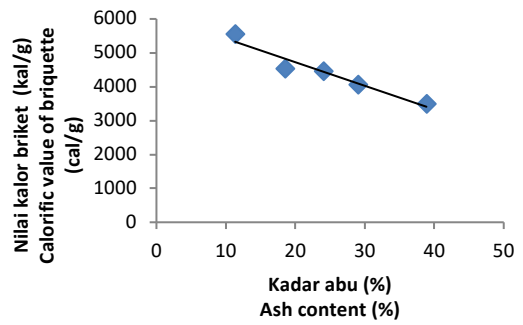
melaporkan briket arang dengan kandungan air 2,9-4,1% dan kadar abu 0,3 -25% memiliki nilai kalori 4.749-6.621 kal/g.



Gambar 3. Hubungan kadar air dengan nilai kalor briket arang
Figure 3. Relation of moisture contents with calorific values of charcoal briquettes

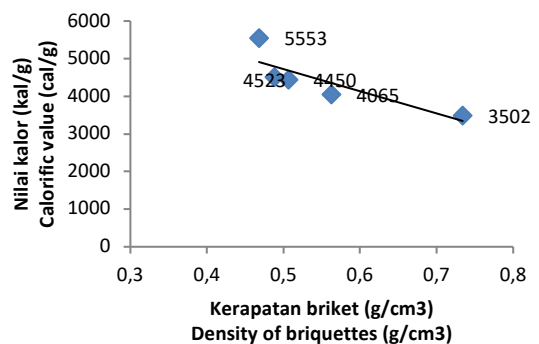
Kandungan air merupakan salah satu parameter utama yang menentukan kualitas briket. Hubungan kadar air dan nilai kalor briket arang disajikan pada Gambar 3. Semakin besar kadar air maka nilai kalor briket arang semakin menurun. Kadar air memiliki pengaruh terhadap nilai kalor, suhu internal dalam padatan karena evaporasi endotermik dan total energi yang diperlukan untuk mengubah padatan hingga ke nilai suhu pirolitik (Aina *et al.*, 2009; Yang *et al.*, 2005; Shiferaw *et al.*, 2017). Briket arang yang terbuat dari campuran dan memiliki kandungan air 14% menunjukkan nilai kalori sebesar 17,688 MJ/kg atau 4.227 kal/g (Saeed *et al.*, 2021)

Hubungan kadar abu dan nilai kalor briket arang ditunjukkan pada Gambar 4. Semakin besar kadar abu, maka semakin rendah nilai kalor briket arang. Menurut Himbanel *et al.* (2018) semakin kecil kandungan abu pada briket arang maka nilai kalornya semakin besar.



Gambar 4. Hubungan kadar abu dengan nilai kalor pada briket arang
Figure 4. Relation of ash content with calorific value of charcoal briquette

Hubungan tingkat kerapatan dan nilai kalor briket arang ditunjukkan pada Gambar 5. Tingkat kerapatan biobriket berkisar antara 0,468- 0,734 g/cm³ dengan nilai kalor antara 5.553-3.502 kal/g. Nilai kalori tertinggi sebesar 5.553 kal/g untuk tingkat kerapatan biobriket 0,468 g/cm³, dan nilai kalor biobriket arang sebesar 3.502 kal/g untuk kerapatan 0,734 g/cm³. Semakin besar kerapatan briket, nilai kalor semakin kecil. Barir (2020) melaporkan bahwa kerapatan akan mempengaruhi nilai kalor bio-briket. Kerapatan bio-briket yang terlalu tinggi menjadikan bio-briket sulit terbakar. Hal ini dikarenakan semakin kecil rongga udara atau celah yang dapat dimasuki oksigen.



Gambar 5. Hubungan antara kerapatan briket arang dengan nilai kalor
Figure 5. Relation of density of charcoal briquettes with calorific value

Sementara itu Suryaningsih *et al.* (2017) melaporkan tingkat kerapatan bio-briket tidak berpengaruh terhadap nilai kalornya. Biobriket dari arang batok kelapa dengan tingkat kerapatan 0,76 g/cm³ memiliki nilai kalori yaitu 5.267 kal/g lebih tinggi dari bio-briket dari arang sekam padi dengan kerapatan 0,68 g/cm dan nilai kalorinya sebesar 3.350 kal/g.

KESIMPULAN

Pembakaran ampas secara pirolisis menghasilkan arang ampas tebu yang dapat digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan bio-briket arang. Vinase atau limbah produksi alkohol dapat digunakan sebagai perekat dalam pembuatan bio-briket arang ampas tebu ataupun abu ketel. Bio-briket arang ampas tebu dapat meningkatkan nilai kalor ampas tebu dari 4.175 kal/g menjadi 5.553 kal/g. Pemanfaatan abu ketel untuk pembuatan bio-briket kurang menarik karena nilai kalor produk lebih rendah daripada penggunaan arang ampas tebu secara penuh. Semakin tinggi komposisi arang ampas tebu dalam bio-briket maka kadar air, kadar abu dan kerapatan bio-briketnya semakin rendah, sementara itu nilai kalornya semakin tinggi. Nilai kalor bio-briket tertinggi diperoleh pada kadar air, kadar abu dan kerapatan bio-briket yang rendah. Kualitas bio-briket terbaik yang diperoleh pada penelitian ini, pada komposisi bahan 100% arang ampas tebu. Kualitas bio-briket dengan komposisi 100% arang ampas tebu menghasilkan nilai kalor 5.553 kal/g, kadar air 3,58%, kerapatan 0,47 g/cm³, dan kadar abu 11,33%.

DAFTAR PUSTAKA

- Akowuah, J.O., Kemausuor, F. & Mitchual, S. J (2012) Physico-chemical characteristics and market potential of sawdust charcoal briquette. *Proceedings of the 55th International Convention of Society of Wood Science and Technology*. Beijing, China
- Alpian, Panjaitan, R., Yanciluk, Supriyati, W., Antang, E.U. & Sosilawaty (2020) Chemical properties of charcoal briquette with composition types of gerunggang (*Cratoxylon arborescens*) and Tumih (*Combretocarpus rotundatus*) wood from tropical peatlands. *Journal of Tropical Peatlands*. 10(2): 17-22.
- Anizar, H., Sribudiani, E. & Somadona, S. (2020) Pengaruh bahan perekat tapioka dan sagu terhadap kualitas briket arang kulit buah nipah. *Perenial*. 16(1): 11–17.
- Anonim, 2000. Briket arang kayu. Standar Nasional Indonesia (SNI 01-6235-2000). Badan Standardisasi Nasional. 1-8.
- Ariwidyanata, R., Wibisono, Y. & Ahmad, M. (2019) Karakteristik fisik briket dari campuran serbuk teh dan serbuk kayu trembesi (*Samanea saman*) dengan perekat tepung tapioka. *Jurnal Keteknik Pertanian Tropis dan Biosistem*. 7(3): 245–252.
- Basu, P. (2013) *Biomass gasification, pyrolysis, and torrefaction*. 2nd ed, New York, Elsevier Inc.
- Giyanto & Sinaga, H: (2019) The making and quality testing of bio-briquette from oil palm waste raw materials as an alternative energy. *International Journal of Energy Engineering*. 9(1): 1-6.
- Haji, A., Pari, G., Habibati, Amiruddin & Maulina (2010) Kajian mutu arang hasil pirolisis cangkang kelapa sawit. *Jurnal Purifikasi*. 11(1): 77-86.
- Haryanti, N.H., Suryajaya, Wardhana, H., Husain, S., Anggraini, Y. & Sofi, N. (2018) Characterization of briquette from halaban charcoal and coal combustion ashes. *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series* 1120. 012046.

- Hameed, Z., Naqvi, S.R., Naqvi, M., Ali, I., Taqvi, S.A.A., Ningbo Gao, N., Hussain, S.A. & Hussain, S. (2020) A comprehensive review on thermal coconversion of biomass, sludge, coal, and their blends using thermogravimetric analysis. *Journal of Chemistry*. 2020(2) : 1-23.
- Himbane, P.B., Ndiaye, L.G., Napoli, A. & Kobor, D. (2018) Physicochemical and mechanical properties of biomass coal briquettes produced by artisanal method. *African Journal of Environmental Science and Technology*. 12(12): 480-486.
- Hanun, J., Setiawan, A. & Afiuddin, A. (2019) Karakteristisasi limbah bagasse ash pabrik gula sebagai alternatif bahan dasar zeolit sintesis. *National Conference Proceeding on Waste Treatment Technology*. 1(1): 23-28.
- Huroeroh, A., Rully S. & Kusuma, H.H. (2021) Analysis of moisture content, calorific value and burning rate of corncob and kapok randu (*Ceiba pentrandu*) skin briquette. *Al-Fiziya: Journal of Materials Science, Geophysics, Instrumentation and Theoretical Physics*. 4(1): 21-28.
- Meincken, M. & Funk, S (2015) Burning characteristics of low-cost safety charcoal briquettes made from wood residues and soil for domestic use. *Agroforest Syst*. 89:357–363.
- Njenga, M., Yonemitsu, A., Karanja, N., Iiyama, M., Kithinji, J., Dubbeling, M., Sundberge, C. & Jamnadass, R. (2013) Implications of charcoal briquette produced by local communities on livelihoods and environment in. Nairobi- Kenya. *Int. Journal of Renewable Energy Development 2* (1): 19-29.
- Pilusa, T.J., Huberts, R. & Muzenda, E. (2013) Emissions analysis from combustion of eco-fuel briquettes for domestic applications. *Journal of Energy in Southern Africa* 24(4): 30–36
- Putra, B.E., Helwani, Z. & Fatra, W. 2017, 'Optimasi proses karbonisasi tandan kosong sawit menggunakan response surface methodology', *JOM FTEKNIK*. 4(2): 1-5
- Saeed, A.A.H., Harun, N.Y., Bilad, M.R., Afzal, M.T., Parvez, A.M., Roslan, F.A.S., Rahim, S.A., Vinayagam, V.D. & Afolabi, H.K. (2021) Moisture Content Impact on Properties of Briquette Produced from Rice Husk Waste. *Sustainability*. 13: 1-14.
- Shiferaw, Y., Tedla, A., Melesea, C., Mengistua, A., Debaya, B., Selamatwia, Y, Merenea, E. & Nejat Awoia, N. (2017) Preparation and evaluation of clean briquettes from disposed wood wastes. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*. 39(20): 2015–2024
- Siritherasas, P., Chunnijom, C. & Sethabunjong, P. (2008) Combustion of Moist Coal Briquettes. *Chiang Mai J. Sci*. 2008; 35(1) : 35-42.
- Suryaningsih, S., O Nurhilal, O., Yuliah, Y. & Mulyana, C. (2017) Combustion quality analysis of briquettes from variety of agricultural waste as source of alternative fuels. *International Conference on Biomass: Technology, Application, and Sustainable Development. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 65. 012012.
- Sutayasa, L. & Sanjaya, I. (2016) Karakterisasi graphene arang ampas tebu berbasis XRD dan TEM. *UNESA Journal of Chemistry*. 5(3): 23-27.

- Teixeira, S.R., Pena, A.F.V & Miguel, A.G. (2010) Briquetting of charcoal from sugarcane bagasse ash (scbfa) as an alternative fuel. *Waste Management*. 30(5): 804-807.
- Umar, D.F., Hudaya, G.K. & Sulistyohadi, F. (2017) Study on combustion characteristics of coal-biomass for co-firing system as a feedstock of coal gasification process. *Indonesian Mining Journal*. 20(2) 115 – 130.
- Yuliah, Y., Kartawidjaja, M., Suryaningsih, S. & Ulfi, K. (2017) Fabrication and characterization of rice husk and coconut shell charcoal based bio-briquettes as alternative energy source. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 65. 012021