

## Pemanfaatan Limbah Lumpur IPAL Proses Biologi Sebagai Bahan Bakar Alternatif dalam Bentuk Briket

**Aldy Dharmansyah Putra<sup>1</sup>, Wildan Nurfalalah<sup>1</sup>, Emma Hermawati Muhari\*<sup>1</sup>, Mukhtar Gozali<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Jurusan Teknik Kimia/Program Studi D-III Teknik Kimia, Politeknik Negeri Bandung

\* Email: emma.hm@polban.ac.id

### INFO ARTIKEL

Diterima 14 Oktober 2022  
Direvisi 23 Desember 2022  
Disetujui 26 Desember 2022

[doi.org/10.35313/fluida.v15i2.4522](https://doi.org/10.35313/fluida.v15i2.4522)

**Keyword:**  
Biological WWTP sludge  
Briquette  
Calorific value  
Coconut shell charcoal

### ABSTRACT

*Industrial WWTP sludge has not been used properly, especially biological process WWTP sludge can be used as an alternative fuel in the form of briquettes. The purpose of this study was to determine potential utilization of biological process WWTP sludge as briquettes, and to determine the effect of adding variations charcoal to the quality of briquettes. The biological process WWTP sludge was obtained from the Food Industry in Cianjur. The dried sludge has a calorific value 2.468 cal/g. The research stages starting with material drying, size reduction (250 μm), mixing, molding, and briquette drying. Briquettes are made with variations in the addition of 30%, 40%, 50%, 60%, and 70% charcoal. The results of the study showed that the addition of charcoal resulted increase in the water content, fixed carbon, and calorific value of briquettes as well decrease in ash content, and volatile matter. The highest calorific value in the variation of the addition charcoal is 70% at 3.819 cal/g, the value still does not meet SNI 1/6235/2000 (standard for wood charcoal briquettes). The biological process WWTP sludge has potential to be used as fuel in the form of briquettes with the addition of coconut shell charcoal and carbonized coal.*

### ABSTRAK

**Kata kunci:**  
Lumpur IPAL biologi  
Briket  
Nilai kalor  
Arang tempurung kelapa

Limbah lumpur IPAL industri belum dimanfaatkan dengan baik, khususnya limbah lumpur IPAL proses biologi bisa dimanfaatkan menjadi bahan bakar alternatif dalam bentuk briket. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui potensi pemanfaatan limbah lumpur IPAL proses biologi sebagai briket, serta mengetahui pengaruh penambahan variasi arang terhadap kualitas briket berupa kadar air, *volatile matter*, kadar abu, *fixed carbon*, dan nilai kalor. Limbah lumpur IPAL proses biologi didapat dari industri makanan di daerah Cianjur. Limbah lumpur yang telah dikeringkan memiliki nilai kalor 2.468 kal/g. Tahapan penelitian dimulai dari pengeringan bahan, pengecilan ukuran (250 μm), pencampuran, pencetakan, dan pengeringan briket. Briket dibuat dengan variasi penambahan arang 30%, 40%, 50%, 60%, dan 70%. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa penambahan arang mengakibatkan peningkatan kadar air, *fixed carbon*, dan nilai kalor briket serta penurunan kadar abu, dan *volatile matter*. Nilai kalor tertinggi pada penambahan arang 70% sebesar 3.819 kal/g, nilainya masih belum memenuhi standar mutu SNI 1/6235/2000 (standar briket arang kayu). Lumpur IPAL proses biologi berpotensi dijadikan bahan bakar padat dalam bentuk briket dengan penambahan arang tempurung kelapa dan batubara karbonisasi.

### PENDAHULUAN

Kegiatan produksi di industri selain menghasilkan produk juga menghasilkan limbah. Contoh limbah yang dihasilkan adalah limbah lumpur dari instalasi

pengolahan air limbah (IPAL). Jenis pengolahan pada air limbah ditentukan berdasarkan karakteristik air limbah tersebut. IPAL yang menggunakan proses biologi akan menghasilkan lumpur IPAL

biologi. Limbah lumpur IPAL ini termasuk ke dalam limbah padat yang tidak termasuk B3 karena tidak mengandung bahan kimia, meskipun tetap dapat mencemari lingkungan sehingga harus dikelola oleh industri. Berdasarkan hal tersebut, lumpur IPAL biologi perlu dimanfaatkan untuk mengurangi lumpur yang akan terbuang ke lingkungan dengan cara dimanfaatkan sebagai bahan bakar dalam bentuk briket. Pada penelitian sebelumnya lumpur IPAL memiliki potensi sebagai bahan bakar karena memiliki nilai kalor sebesar 2154,8 kal/g, kemudian setelah dijadikan briket dengan penambahan serbuk gergaji kayu nilai kalonya meningkat menjadi 4366 kal/g [1].

Briket adalah bahan bakar padat yang berdimensi seragam, yang didapat menggunakan proses pencetakan dengan tujuan untuk mempermudah proses penyimpanan dan pendistribusiannya serta dapat meningkatkan nilai kalor briket per satuan luas. Briket merupakan contoh bahan bakar biomassa yang mampu digunakan sebagai pengganti bahan bakar fosil yaitu batubara. Penggunaan batubara dalam pemanas *boiler* mampu digantikan oleh briket terutama dalam industri UMKM seperti industri makanan, minuman, maupun tekstil. Penelitian mengenai pembuatan briket dari pemanfaatan limbah biomassa seperti serbuk kayu, ampas tebu, tongkol jagung dan sebagainya telah banyak dilakukan. Seperti pada penelitian lain yang menggunakan kulit buah bintaro sebagai bahan briket, menghasilkan nilai kalor sebesar 6.000,46 kal/g [2].

Penambahan arang dan batubara pada briket dilakukan dengan tujuan untuk meningkatkan nilai kalor briket. Faktor yang dapat berpengaruh pada karakteristik briket yaitu densitas dari bahan baku, kehalusan (ukuran partikel bahan), suhu proses karbonisasi, tekanan pada saat proses pencetakan, serta komposisi pada saat pencampuran [3]. Adapun karakteristik briket terdiri dari kerapatan, kuat tekan, kadar air, nilai kalor, kadar abu, *volatile matter*, dan *fixed carbon*.

Pencetakan briket diperlukan perekat dengan tujuan untuk memperkuat ikatan antar partikel bahan briket sehingga briket yang dicetak bersifat kompak (menempel dengan kuat). Bahan perekat yang umum digunakan yaitu tepung tapioka, selain itu jenis perekat lainnya yang bisa digunakan diantaranya sagu, getah aren, arpus dan lain-lain.

Penelitian ini dilakukan untuk

mengetahui potensi limbah lumpur IPAL proses biologi sebagai bahan bakar serta untuk mengetahui pengaruh penambahan limbah arang tempurung kelapa dan batubara karbonisasi terhadap karakteristik briket.

## METODE

### Bahan dan Alat

Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini adalah limbah lumpur IPAL proses biologi yang diperoleh dari industri makanan di daerah Cianjur, limbah arang tempurung kelapa yang diperoleh dari pedagang sate di daerah Sarijadi, dan batubara yang telah dikarbonisasi. Adapun perekat yang digunakan untuk membuat briket adalah tepung tapioka.

Peralatan yang digunakan diantaranya, pencetak briket yang berbentuk silinder dengan diameter dalam 2,5 cm dan tinggi 15 cm, penekan briket berupa dongkrak, neraca analitik, *grinder*, ayakan 60 *mesh* (250  $\mu\text{m}$ ), *furnace*, *oven*, dan *bomb calorimeter*.

### Persiapan Bahan Baku

Limbah lumpur yang diperoleh dikeringkan dahulu dengan dijemur selama 3 hari atau sampai kadar airnya kurang dari 10%. Batubara dikarbonisasi dengan temperatur 500°C selama 2 jam. Limbah lumpur yang telah kering, arang tempurung kelapa, dan batubara yang telah dikarbonisasi dihaluskan dengan *grinder* kemudian diayak dengan ayakan 60 *mesh* (250  $\mu\text{m}$ ). Bahan yang lolos ayakan digunakan sebagai bahan baku briket.

### Pencampuran

Bahan yang telah diayak kemudian dicampurkan dengan variasi rasio penambahan arang yang ditunjukkan oleh **Tabel 1**. Batubara yang telah dikarbonisasi ditambahkan 10% dari berat lumpur untuk tiap variasi penambahan arang. Bahan dicampurkan sampai tercampur merata. Setelah itu perekat tepung tapioka ditambahkan 15% dari berat lumpur. Bahan baku yang telah diberi perekat kemudian diaduk hingga tercampur merata.

**Tabel 1.** Variasi Penambahan Arang

Variasi	Penambahan Arang (%berat lumpur)	Penambahan Batubara (%berat lumpur)
1	30	10
2	40	10
3	50	10
4	60	10
5	70	10

### Pencetakan Briket

Bahan yang telah dicampurkan secara merata dimasukkan ke dalam cetakan briket yang berbentuk silinder dan ditekan menggunakan dongkrak dengan tekanan 4 ton. Briket yang telah tercetak akan berbentuk silinder dengan tinggi 5 cm dan diameter 2,5 cm. Briket dikeringkan untuk menghilangkan kadar air. Pengeringan dilakukan dengan *oven* pada suhu 105°C selama 30 menit.

### Pengujian Mutu Briket

Briket yang telah kering kemudian dilakukan uji kualitas berupa pengujian kadar air (ASTM D-3173), kadar *volatile matter* (ASTM D-3175), kadar abu (ASTM D-3174), kadar *fixed carbon*, kuat tekan, nilai kalor, dan laju pembakaran. Hasil dari pengujian akan dibandingkan dengan standar mutu yang tersedia dengan acuan SNI 1/6235/2000 (Standar briket arang kayu).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Karakteristik Bahan

Lumpur IPAL biologi dipakai sebagai bahan utama penyusun briket agar mampu mengurangi limbah lumpur yang terbuang langsung ke lingkungan sehingga perlu adanya pemanfaatan. Penambahan arang dan batubara dilakukan dengan tujuan untuk meningkatkan nilai kalor briket.

Limbah lumpur basah yang diperoleh memiliki kadar air awal 76,8% dan dilakukan perlakuan awal yaitu dikeringkan dengan panas matahari dan kadar airnya turun menjadi 2,8%. Karakteristik lumpur yang telah dikeringkan dapat dilihat di **Tabel 2**. Pengujian menunjukkan bahwa limbah lumpur IPAL proses biologi yang digunakan sebagai bahan briket memiliki kadar abu yang tinggi sebesar 37,4%, hal tersebut dapat disebabkan oleh tanah yang tercampur pada limbah dibuktikan oleh abu hasil pembakaran yang berwarna merah seperti batu bata, adapun *volatile matter* yang tinggi karena limbah lumpur berasal dari industri makanan sehingga limbah lumpurnya mengandung lemak yang menyebabkan tingginya *volatile matter* sebesar 56,5%.

Karbonisasi batubara dilakukan untuk meningkatkan nilai kalor batubara serta mengurangi *volatile matter*. Batubara awal yang diperoleh termasuk kategori lignit dan setelah dikarbonisasi mengalami peningkatan nilai kalor sehingga termasuk ke dalam kategori bituminous. Proses karbonisasi batubara mengurangi berat batubara sebesar 45,81%. Nilai kalor batubara meningkat menjadi 6.556 kal/g dan *volatile matter* berkurang menjadi 19,7%.

**Tabel 2.** Karakteristik Bahan

No.	Bahan	Karakteristik				
		Kadar Air (%)	<i>Volatile Matter</i> (%)	<i>Fixed Carbon</i> (%)	Kadar Abu (%)	Nilai Kalor (Kal/g)
1	Limbah Lumpur	2,8	56,5	3,3	37,4	2.468
2	Arang	8,7	14,2	71,1	6	6.589
3	Batubara Sebelum Karbonisasi	9	35,8	50,8	4,4	4.683
4	Batubara Karbonisasi	2,7	19,7	73,3	4,3	6.556
5	Tepung Tapioka	17,8	57	16,6	8,6	3.404

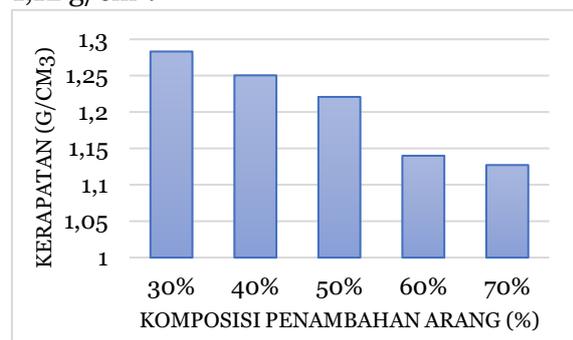
**Tabel 3.** Hasil Pengujian Kualitas Briket

No.	Parameter Uji	Standar P3HH*	SNI 1/6235/2000	Variasi Rasio Penambahan Arang				
				30%	40%	50%	60%	70%
1	Kerapatan (g/cm <sup>3</sup> )	> 0,7	-	1,28	1,25	1,22	1,14	1,13
2	Kuat Tekan (kg/cm <sup>2</sup> )	> 12	-	13,66	13,23	13,14	12,95	12,72
3	Kadar Air (%)	< 8	< 8	6,13	6,16	6,41	6,61	6,66
4	Kadar Abu (%)	< 8	< 8	44,1	38	36,6	35,2	34,4
5	<i>Volatile Matter</i> (%)	< 30	< 15	29,62	30,37	27,33	28,06	27,25
6	<i>Fixed Carbon</i> (%)	> 60	-	20,15	25,47	29,66	30,13	31,69
7	Nilai Kalor (kal/g)	> 6.000	> 5.000	3.418	3.473	3.526	3.697	3.819
8	Laju Pembakaran (g/jam)	-	-	26,19	22,92	22,50	20,87	20,77

\*Puslitbang Hasil Hutan-Bogor [4]

### Pengaruh Penambahan Arang terhadap Kerapatan dan Kuat Tekan

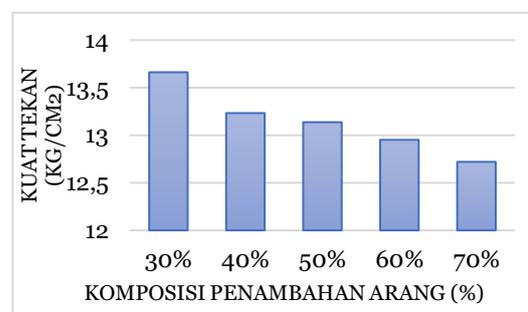
Hasil analisis kerapatan pada **Tabel 3** menunjukkan nilai kerapatan paling tinggi pada komposisi 30% sebesar 1,28 gram/cm<sup>3</sup> dan terendah pada komposisi 70% sebesar 1,12 g/cm<sup>3</sup>.



**Gambar 1.** Grafik Pengaruh Arang terhadap Kerapatan

Pada grafik yang ditunjukkan **Gambar 1**, nilai kerapatan menurun dikarenakan lumpur yang lebih mudah dipadatkan sehingga massa jenis arang lebih rendah daripada massa jenis lumpur.

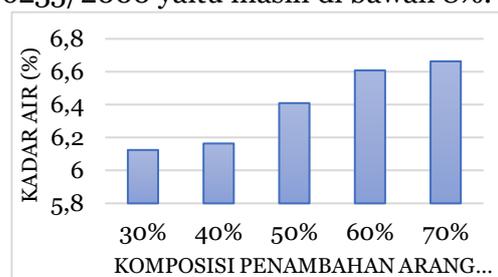
Hasil analisis kuat tekan pada **Tabel 3** menunjukkan kuat tekan paling tinggi pada komposisi 30% sebesar 13,66 kg/cm<sup>2</sup> dan terendah pada komposisi 70% sebesar 12,72 kg/cm<sup>2</sup>. Pada grafik yang ditunjukkan oleh **Gambar 2** memperlihatkan penurunan nilai kuat tekan, hal tersebut dikarenakan kuat tekan berbanding lurus dengan kerapatan. Semakin rendah kerapatannya maka kuat tekan juga semakin rendah.



**Gambar 2.** Grafik Pengaruh Arang terhadap Kuat Tekan

### Pengaruh Penambahan Arang terhadap Kadar Air

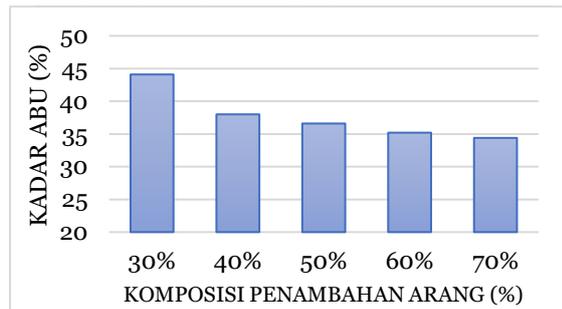
Hasil analisis nilai dari kadar air briket diketahui bahwa nilai kadar air tertinggi pada penambahan arang 70% sebesar 6,66% dan terendah pada penambahan arang 30% sebesar 6,13%. Penambahan arang cenderung meningkatkan nilai kadar air, terlihat pada grafik kadar air meningkat di tiap komposisinya. Hal tersebut dikarenakan kadar air dari arang yang cukup tinggi terlihat pada **Tabel 2**, namun nilai kadar air dari tiap briket masih memenuhi standar kualitas pada SNI 1/6235/2000 yaitu masih di bawah 8%.



**Gambar 3.** Grafik Pengaruh Arang terhadap Kadar Air

### Pengaruh Penambahan Arang terhadap Kadar Abu

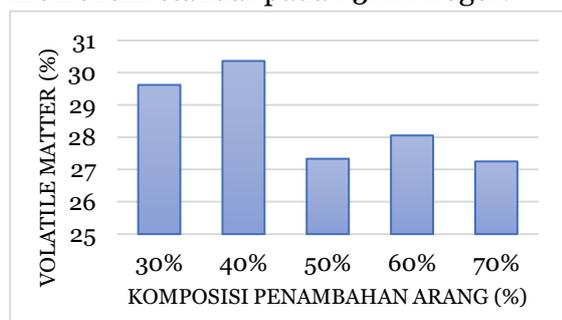
Hasil pengujian nilai kadar abu dapat dilihat pada **Tabel 3**. Grafik pada **Gambar 4** menurun seiring dengan peningkatan penambahan arang. Nilai kadar abu paling tinggi yaitu pada penambahan arang 30% sebesar 44,1% dan terendah pada penambahan arang 70% sebesar 34,4%. Kadar abu dari tiap variasi belum memenuhi SNI 1/6235/2000, hal tersebut dikarenakan nilai kadar abu dari lumpur IPAL yang sangat tinggi yaitu 37,4%.



**Gambar 4.** Grafik Pengaruh Arang terhadap Kadar Abu

### Pengaruh Penambahan Arang terhadap Volatile Matter

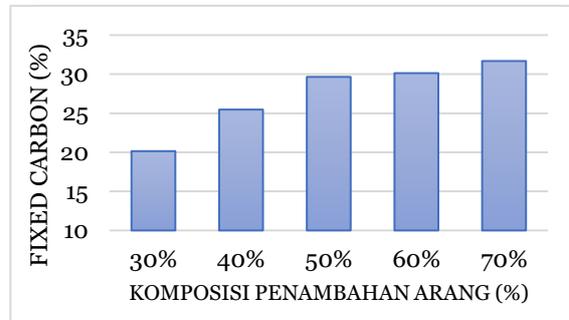
Kadar *volatile matter* yang tinggi dapat menghasilkan banyaknya asap pada saat proses pembakaran. Nilai *volatile matter* briket yang tinggi disebabkan bahan campuran penyusun briket yaitu limbah lumpur yang memiliki *volatile matter* yang sangat tinggi sebesar 56,5%. Grafik pada **Gambar 5** cenderung menurun dengan adanya fluktuasi. Nilai fluktuatif pada penambahan arang 40% dan 50% disebabkan oleh beberapa faktor yaitu kadar air, suhu, waktu, kecepatan pemanasan, penyebaran butir dan ukuran partikel. Tiap variasi briket belum memenuhi SNI 1/6235/2000 karena *volatile matter* yang lebih dari 15%. Meskipun selain briket dengan penambahan arang 40%, variasi lain masih memenuhi standar pada P3HH Bogor.



**Gambar 5.** Grafik Pengaruh Arang terhadap Volatile Matter

### Pengaruh Penambahan Arang terhadap Fixed Carbon

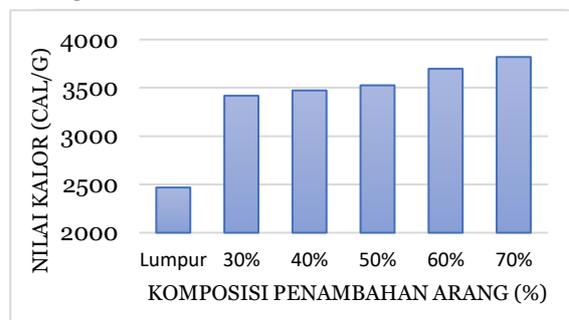
Grafik pada **Gambar 6** menunjukkan nilai *fixed carbon* yang meningkat sesuai dengan penambahan arang yang semakin tinggi. Nilai *fixed carbon* yang tertinggi diperoleh pada komposisi 70% sebesar 31,69% dan terendah pada komposisi 30% sebesar 20,15%.



**Gambar 6.** Grafik Pengaruh Arang terhadap Fixed Carbon

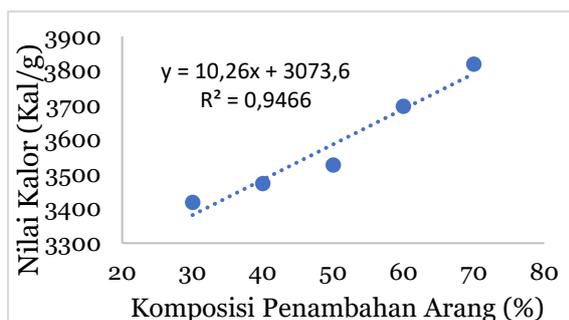
### Pengaruh Penambahan Arang terhadap Nilai Kalor

Nilai kalor paling tinggi diperoleh pada penambahan arang 70% sebesar 3819 kal/g dan terendah pada penambahan arang 30% sebesar 3.418 kal/g. Pada grafik yang disajikan **Gambar 7**, grafiknya mengalami peningkatan sejalan dengan peningkatan arang.



**Gambar 7.** Grafik Pengaruh Arang terhadap Nilai Kalor

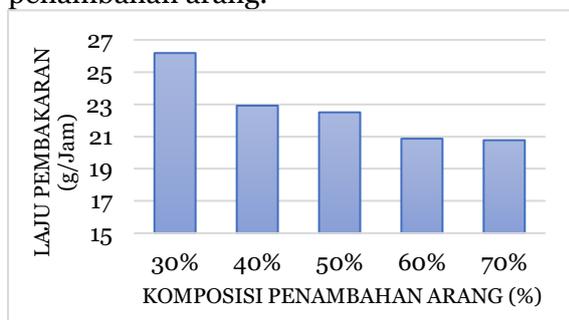
Nilai kalor dari tiap variasi masih belum memenuhi SNI 1/6235/2000, karena masih di bawah 5.000 kal/g. Untuk mencapai standar tersebut, berdasarkan persamaan garis linear pada **Gambar 8** perlu ditambahkan 188% arang sehingga nilai kalornya melebihi standar yaitu 5.002 kal/g. Briket dengan penambahan arang 188% tersebut, berdasarkan perhitungan akan memiliki karakteristik *volatile matter* 31,64%, *fixed carbon* 49,56%, dan kadar abu 17,02%.



**Gambar 8.** Grafik Pengaruh Arang terhadap Nilai Kalor

### Pengaruh Penambahan Arang terhadap Laju Pembakaran

Laju pembakaran adalah kecepatan suatu bahan atau briket untuk terbakar habis. Laju pembakaran yang tinggi mengakibatkan briket cepat habis terbakar. Grafik pada **Gambar 9** menunjukkan penurunan laju pembakaran dengan nilai laju pembakaran tertinggi pada komposisi 30% sebesar 26,19 gram/jam dan terendah pada komposisi 70% sebesar 20,77 gram/jam. Hal tersebut dikarenakan semakin banyak kandungan *fixed carbon* pada suatu briket maka waktu pembakarannya semakin lama yang menyebabkan laju pembakarannya semakin rendah seiring peningkatan penambahan arang.



**Gambar 9.** Grafik Pengaruh Arang terhadap Laju Pembakaran

### SIMPULAN

Lumpur IPAL proses biologi dapat dijadikan bahan bakar padat dalam bentuk briket dengan penambahan arang tempurung kelapa dan batubara karbonisasi. Penambahan arang dan batubara menyebabkan peningkatan kadar air, *fixed carbon*, dan nilai kalor briket serta penurunan *volatile matter* dan kadar abu. Briket dengan penambahan arang 70% (pada variasi 30% - 70%) memberikan nilai kalor yang terbaik yaitu 3.891 kal/g. Nilai kalor tiap variasi briket belum memenuhi standar nilai kalor 5000 kal/g pada SNI 1/6235/2000 (standar briket arang kayu).

Penambahan arang sebesar 188% dapat meningkatkan nilai kalor briket agar memenuhi standar SNI 1/6235/2000.

Pada penelitian selanjutnya tingginya kadar abu dari karakteristik awal lumpur perlu diidentifikasi lebih lanjut dan dibandingkan dengan karakteristik lumpur biologi dari industri lain serta pada proses pencetakan dapat menggunakan mesin cetak briket yang lebih canggih.

### DAFTAR RUJUKAN

- [1] S. E. Bimantara and E. N. Hidayah, "Pemanfaatan Limbah Lumpur IPAL Kawasan Industri dan Serbuk Gergaji Menjadi Briket," *Teknik Lingkungan*, vol. 1, no. 5, pp. 21-27, 2019.
- [2] E. Ningsih, Y. W. Mirzayanti, H. S. Himawan and H. M. Indriani, "Pengaruh Jenis Perekat pada Briket dari Kulit Buah Bintaro terhadap Waktu Bakar," in *Prosiding Seminar Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia*, Yogyakarta, 2016.
- [3] R. I. Lubis, "Rancang Bangun Alat Pencetak Briket Hidrolik dan Kompom Briket (Menganalisa Pengaruh Variasi Tekanan Pencetakan terhadap Karakteristik Thermal Biobriket yang Dihasilkan)," Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang, 2016.
- [4] R. Sudrajat, "Produksi Arang dan Briket Arang serta Prospek Pengusahaannya," Pusat Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Bogor, 1982.
- [5] M. Mirwan and I. Mufti, "Pemanfaatan Lumpur IPAL dan Serbuk Gergaji Menjadi Briket Alternatif," *Environtek*, vol. 2, no. 12, pp. 59-63, 2020.
- [6] D. Khusna and J. Susanto, "Pemanfaatan Limbah Padat Kopi sebagai Bahan Bakar Alternatif dalam Bentuk Bricket Berbasis Biomass (Studi Kasus di PT. Santos Jaya Abadi Instant Coffe)," Institut Teknologi Adhitama Surabaya, Surabaya, 2015.
- [7] M. Gunamantha and G. E. B. Darmawan, "Pengaruh Penambahan Sludge Limbah Pengolahan terhadap Nilai Analisis Proksimat dan Kalor Briket Arang

- Limbah Biomassa," Universitas Pendidikan Ganesha, Bali, 2014. no. 5, pp. 271-276, 2017.
- [8] J. F. Gultom, "Karakteristik Briket Arang dari Sludge dengan Penambahan Arang Tempurung Kelapa," Universitas Sumatera Utara, Sumatera Utara.
- [9] E. Budi, "Tinjauan Proses Pembentukan dan Penggunaan Arang Tempurung Kelapa Sebagai Bahan Bakar," *Penelitian Sains*, vol. 4B, no. 14, pp. 25-29, 2011.
- [10] Santosa, Mislaini and S. P. Anugrah, "Studi Variasi Komposisi Bahan Penyusun Briket dari Kotoran Sapi dan Limbah Pertanian," Universitas Andalas, Padang, 2010.
- [11] M. H. R. Rohim, "Pemanfaatan Limbah Ampas Tebu Menjadi Briket Energi Alternatif dengan Perekat Tepung Tapioka," Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta, 2019.
- [12] I. Qistina, D. Sukandar and Trilaksono, "Kajian Kualitas Briket Biomassa dari Sekam Padi dan Tempurung Kelapa," *Kimia VALENSI*, vol. 2, no. 2, pp. 136-142, 2016.
- [13] A. P. Putri and Sukandar, "Studi Pemanfaatan Limbah B3 Sludge Produced Water sebagai Bahan Baku Refuse Derived Fuel (RDF)," *Teknik Lingkungan*, vol. 1, no. 19, pp. 1-10, 2013.
- [14] Y. Patmawati and A. Kurniawan, "Pemanfaatan Batubara Lignit Kalimantan Timur Menjadi Karbon Aktif," Politeknik Negeri Samarinda, Samarinda, 2017.
- [15] J. Fariadhe, "Perbandingan Briket Tempurung Kelapa Dengan Ampas Tebu, Jerami dan Batu Bara," vol. 1, no. 5, pp. 1-8, Teknik UNISFAT.
- [16] A. Kholil, "Analisis Fisis Briket Arang dari Sampah Berbahan Alami Kulit Buah dan Pelepah Salak," Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, Malang, 2017.
- [17] C. D. Pandapotan, Mukhlis and M. P, "Pemanfaatan Limbah Lumpur Padat (Sludge) Pabrik Pengolahan Kelapa Sawit Sebagai Alternatif Penyediaan Unsur Hara di Tanah Ultisol," *Agroekoteknologi*, vol. 2,