

# STUDI KARAKTERISTIK BRIKET CAMPURAN *USED CARBON* DAN *SLUDGE* INDUSTRI BIOTEKNOLOGI DENGAN ANALISA PROKSIMAT DAN NILAI KALOR

Farida Kusuma Wardani dan Ariani

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia  
[faridakusuma15@gmail.com](mailto:faridakusuma15@gmail.com) ; [\[ariani@polinema.ac.id\]](mailto:ariani@polinema.ac.id)

## ABSTRAK

*Used carbon* merupakan limbah dari proses produksi pada industri bioteknologi yang tergolong ke dalam limbah B3, sedangkan *sludge* IPAL yang dihasilkan oleh industri bioteknologi tidak termasuk dalam limbah B3. Kedua limbah tersebut wajib dikelola oleh pihak industri yang bersangkutan karena dapat memberikan dampak negatif terhadap lingkungan, yaitu apabila terbawa aliran air hujan dan masuk ke dalam badan air, maka dapat menurunkan kualitas air dan merusak ekosistem air. Dampak negatif yang ditimbulkan oleh limbah tersebut dapat diatasi dengan pemanfaatan limbah sebagai bahan baku sumber energi alternatif berupa briket dengan memanfaatkan nilai kalor yang terkandung pada limbah tersebut. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kualitas terbaik dari briket campuran *used carbon* dan *sludge* untuk dijadikan sumber energi alternatif. Metode penelitian diawali dengan karakterisasi bahan baku dan dilanjutkan pembuatan produk briket. Briket berbahan baku *used carbon* kemudian ditambahkan bahan baku tambahan berupa *sludge* yang dicampur dengan perbandingan 4:1, 2:1, dan 1:1 pada masing-masing ukuran 60 mesh, 40 mesh dan 20 mesh. Briket yang dihasilkan kemudian dilakukan analisa proksimat dan dilakukan perbandingan dengan SNI 4931 Tahun 2010. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, diperoleh briket dengan kualitas terbaik pada ukuran 60 mesh dengan perbandingan 4:1, kadar air 7,52%, kadar abu 12,21%, *volatile matter* 35,59%, *fixed carbon* 44,68% dan nilai kalor 5.070,52 kal/g yang telah memenuhi standar SNI 4931 Tahun 2010.

**Kata kunci:** analisa proksimat, briket, *sludge*, *used carbon*

## ABSTRACT

*Used carbon* is waste from the production process in the biotechnology industry which is classified as B3 waste, while WWTP *sludge* produced by the biotechnology industry is not included in B3 waste. Both of these wastes must be managed by the industry concerned because they can have a negative impact on the environment, namely if it is carried away by rainwater and enters water bodies, it can reduce water quality and damage aquatic ecosystems. The negative impact caused by this waste can be overcome by using it as a raw material for alternative energy sources in the form of briquettes by utilizing the caloric value contained in the waste. The purpose of this study was to determine the best quality of briquettes mixed with *used carbon* and *sludge* to be used as an alternative energy source. The research method begins with the characterization of raw materials and continues with the manufacture of briquettes. Briquettes made from *used carbon* are then added with additional raw material in the form of *sludge* which is mixed in a ratio of 4:1, 2:1, and 1:1 for each size of 60 mesh, 40 mesh and 20 mesh. The resulting briquettes were then subjected to proximate analysis and a comparison was made with SNI 4931 of 2010. Based on the research conducted, the best quality briquettes were obtained at 60 mesh size with a ratio of 4:1, obtained a moisture content of 7.52%, ash content of 12.21%, *volatile matter* 35.59%, *fixed carbon* 44.68% and caloric value 5.070,52 kal/g which meet SNI 4931 2010 standards.

**Keywords:** proximate analysis, briquette, *sludge*, *used carbon*

## 1. PENDAHULUAN

Industri bioteknologi merupakan industri yang mengaplikasikan bioteknologi untuk memenuhi tujuan aktivitas industri untuk menghasilkan produk. Salah satu aplikasi bioteknologi yaitu fermentasi dengan produk yang dihasilkan berupa asam amino. Asam amino hasil produksi digunakan sebagai aditif pakan ternak, dicampur dengan berbagai bahan baku ternak lainnya seperti sereal yang tidak mengandung asam amino yang cukup untuk kebutuhan nutrisi ternak pada ayam pedaging, unggas, babi dan lain-lain. Menurut Badan Karantina Pertanian Kementerian Pertanian Republik Indonesia terdapat peningkatan ekspor asam amino aditif pelengkap pakan ternak mencapai 57 kali dengan total 4,49 ribu ton selama periode januari hingga juni 2020. Hal ini mendorong meningkatnya produksi asam amino aditif pelengkap pakan ternak. Perlu diketahui bahwa tingginya proses produksi dapat menyebabkan meningkatnya jumlah limbah yang dihasilkan oleh industri bioteknologi.

Asam amino merupakan produk cair berkualitas tinggi yang diproduksi oleh industri bioteknologi, dimana dalam proses produksinya menggunakan karbon aktif dari tempurung kelapa untuk memurnikan produk yang dihasilkan disebabkan karbon aktif berbahan tempurung kelapa memiliki afinitas yang sangat tinggi terhadap kontaminan, termasuk logam. Karbon aktif yang telah digunakan dan menurun efisiensi penyerapannya terhadap kontaminan harus diganti dengan karbon aktif yang baru. Sehingga dihasilkan limbah dari karbon aktif atau disebut sebagai *used carbon* yang termasuk dalam kategori limbah B3 karena mengandung logam-logam berat yang berasal dari proses produksi. Umumnya *used carbon* digunakan kembali dengan cara pemulihan kembali daya serap adsorben atau melakukan proses aktivasi ulang terhadap karbon aktif tersebut menggunakan metoda panas, mikroba dan bahan kimia [1]. Namun, saat ini belum dilakukan penanganan *used carbon* yang dihasilkan oleh pabrik, sehingga memungkinkan terjadinya permasalahan lingkungan seperti cecceran limbah yang terbawa aliran air hujan dan dapat mencemari sungai. Selain itu, terdapat limbah yang dihasilkan dari Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) berupa *sludge*.

Apabila ditinjau dari nilai nilai kalor, *used carbon* dan *sludge* memiliki nilai kalor sebesar 4.807,09 kal/g dan 4.203,94 kal/g. Berdasarkan tingginya nilai kalor dari *used carbon* dan *sludge*, maka *used carbon* dan *sludge* berpotensi menjadi sumber energi alternatif pengganti batubara pada industri bioteknologi. Hal ini akan memberikan dampak pada industri berupa penurunan penggunaan batubara dan mengurangi *cost* yang dibutuhkan oleh pabrik untuk penyediaan energi proses produksi. Sehingga permasalahan lingkungan yang ditimbulkan dari limbah yang dihasilkan oleh industri dapat diminimalkan dengan cara mengoptimalkan daur ulang dan penggunaan kembali limbah sebagai bahan baku briket.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan sampel yang digunakan dalam penelitian adalah *used carbon* dan *sludge*. Bahan baku briket dilakukan karakterisasi awal berupa analisa proksimat meliputi kadar air, kadar abu, *volatile matter* dan *fixed carbon* serta analisa nilai kalor menggunakan metode ASTM. Bahan baku yang telah dilakukan karakterisasi awal, kemudian dibuat briket dengan bahan baku *used carbon* yang ditambahkan bahan baku tambahan berupa *sludge* dan dicampur dengan perbandingan 4:1, 2:1, dan 1:1 pada masing-masing ukuran 60 mesh, 40 mesh dan 20 mesh. Briket yang

dihasilkan, kemudian dikarakterisasi kembali berupa analisa proksimat meliputi kadar air, kadar abu, *volatile matter* dan *fixed carbon* serta analisa nilai kalor. Kemudian dilakukan perbandingan kualitas hasil pengukuran dengan SNI 4931 Tahun 2010.

### 2.1. Kadar Air

Penentuan kadar air menggunakan metode ASTM D-3173 dengan ukuran sampel 60 mesh dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 104 – 110 °C. Kadar air dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan [2]:

$$\text{Kadar air}\% = \frac{B - C}{B - A} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan:

A : massa cawan kosong setelah di oven (gram)

B : massa cawan dan sampel basah (gram)

C : massa cawan dan sampel kering setelah di oven (gram)

### 2.2. Kadar Abu

Penentuan kadar abu menggunakan metode ASTM D-3174. Untuk penentuan kadar abu sampel dipanaskan pada *furnace* dengan suhu 500 °C selama 1 jam dan dilanjutkan pada suhu 750 °C selama 3 jam. Kadar abu ditentukan dengan menggunakan rumus [3]:

$$\text{Kadar abu}\% = \frac{C - A}{B - A} \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan :

A : massa cawan setelah di oven (gram)

B : massa cawan dan sampel basah (gram)

C : massa cawan dan sampel setelah di furnace (gram)

### 2.3. Zat Terbang (*Volatile Matter*)

Penentuan kadar zat terbang menggunakan metode ASTM D-3175. Pada metode ini sampel dipanaskan pada *furnace* dengan suhu 950 °C selama 7 menit dan didinginkan selama 15 menit. *Volatile matter* dapat ditentukan menggunakan rumus [4]:

$$\text{AVG}\% = \frac{(M3 - M4)}{(M2 - M1)} \times 100\% \quad (3)$$

$$\text{Zat terbang}\% = \%AVG \times \text{Kadar air}\% \quad (4)$$

Keterangan :

AVG : zat terbang rata-rata (%)

V : zat terbang (*volatile matter*) (%)

M1 : massa cawan setelah di oven (gram)

M2 : massa cawan dan sampel basah (gram)

M3 : massa cawan dan sampel setelah di furnace (gram)

M4 : massa cawan-massa abu (gram)

#### 2.4. Fixed Carbon

Perhitungan presentase *fixed carbon* yang terkandung pada briket menggunakan metode ASTM D-3172 dengan persamaan sebagai berikut [5]:

$$\text{Fixed carbon\%} = 100\% - (\text{kadar air\%} - \text{kadar abu\%} - \text{zat terbang\%}) \quad (5)$$

#### 2.5. Nilai Kalor

Nilai kalor (*heating value*) suatu bahan bakar diperoleh dengan menggunakan bomb kalorimeter. Perhitungan nilai kalor berdasarkan ASTM D-5865. Dengan menggunakan bomb kalorimeter dapat dihitung panas yang diserap air dan bomb kalorimeter dan energi bom kalorimeter setara HHV (*highest heating value*) dan LHV (*lowest heating value*) [6].

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Karakteristik Used Carbon

Karakteristik *used carbon* setelah dilakukan analisa proksimat meliputi kadar air, kadar abu, *volatile matter* dan *fixed carbon* serta analisa nilai kalor dalam bentuk *air dried base* (adb) ditunjukkan pada Tabel karakteristik *used carbon*. Hasil analisa diperoleh kadar air 10,13% dan nilai kalor yang cukup tinggi, yaitu sebesar 4.807,09 kal/g. Karakteristik dari *used carbon* ditunjukkan pada Tabel 1:

Tabel 1. Karakteristik *used carbon*

Sampel	Kadar Air%	Kadar Abu%	Volatile Matter%	Fixed Carbon%	Nilai Kalor (kal/g)
<i>Used Carbon</i>	10,13	10,04	32,94	46,89	4.807,09

#### 3.2. Karakteristik Sludge IPAL

Tabel 2 menunjukkan karakteristik *sludge* berdasarkan hasil analisa proksimat meliputi kadar air, kadar abu, *volatile matter* dan *fixed carbon*, dimana *sludge* tersebut merupakan sampel dalam kondisi *air dried base* (adb).

Tabel 2. Karakteristik *sludge* IPAL

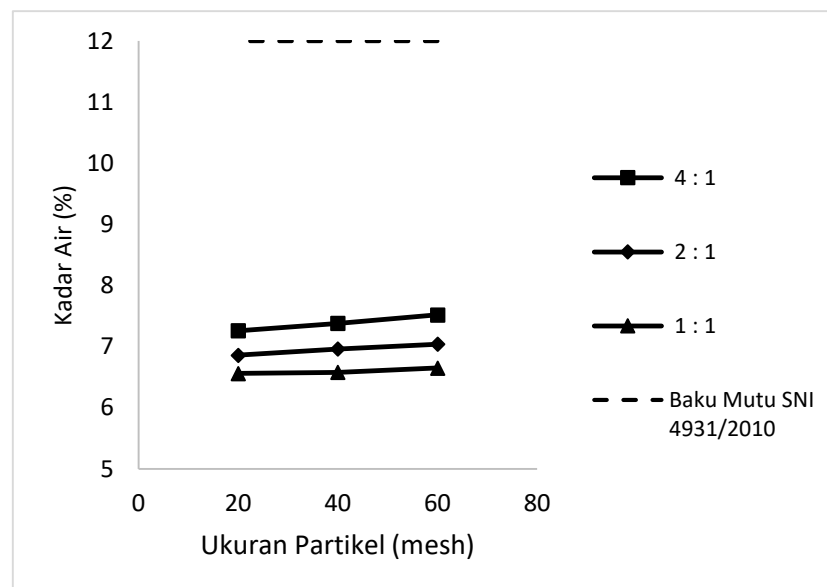
Sampel	Kadar Air%	Kadar Abu%	Volatile Matter%	Fixed Carbon%	Nilai Kalor (kal/g)
<i>Sludge</i>	6,51	17,63	65,43	10,43	4.203,94

#### 3.3. Pengaruh Komposisi Campuran terhadap Kadar Air

Hasil pengujian kadar air pada briket dengan variasi campuran dan ukuran partikel sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.

Pengujian kadar air menunjukkan hasil yang bervariasi, dimana perbandingan komposisi pada masing-masing ukuran memiliki prosentase nilai kurang dari 15%, sehingga komposisi campuran pada ketiga ukuran tersebut memenuhi baku mutu kadar air berdasarkan SNI 4931 Tahun 2010 sebesar 15% dan dapat dijadikan sebagai sumber energi alternatif. Namun, pada hasil pengujian tersebut menunjukkan kadar air terbaik

pada komposisi campuran *used carbon* dan *sludge* 1:1 dengan ukuran partikel 20 mesh yaitu dengan nilai kadar air 6,56%. Semakin besar komposisi *used carbon* menyebabkan kadar air briket meningkat, dimana tingginya kadar air akan menyebabkan nilai kalor semakin rendah karena energi yang seharusnya digunakan untuk pembakaran justru digunakan untuk menguapkan kandungan air yang terdapat pada briket [7]. Selain itu, ukuran partikel berpengaruh terhadap kadar air briket, semakin kecil ukuran partikel menyebabkan kadar air semakin meningkat. Hal ini berbanding terbalik dengan teori, dimana seharusnya semakin besar ukuran partikel menyebabkan kadar air semakin besar disebabkan pada partikel yang lebih besar semakin banyak rongga-rongga udara dan rongga-rongga tersebut akan diisi oleh air [8]. Perbedaan hal tersebut disebabkan pada briket dengan ukuran partikel 20 mesh lebih mudah dilakukan pengepresan sehingga menyebabkan air yang terkandung pada campuran keluar lebih banyak dan briket semakin padat sehingga mengurangi penyerapan uap air.



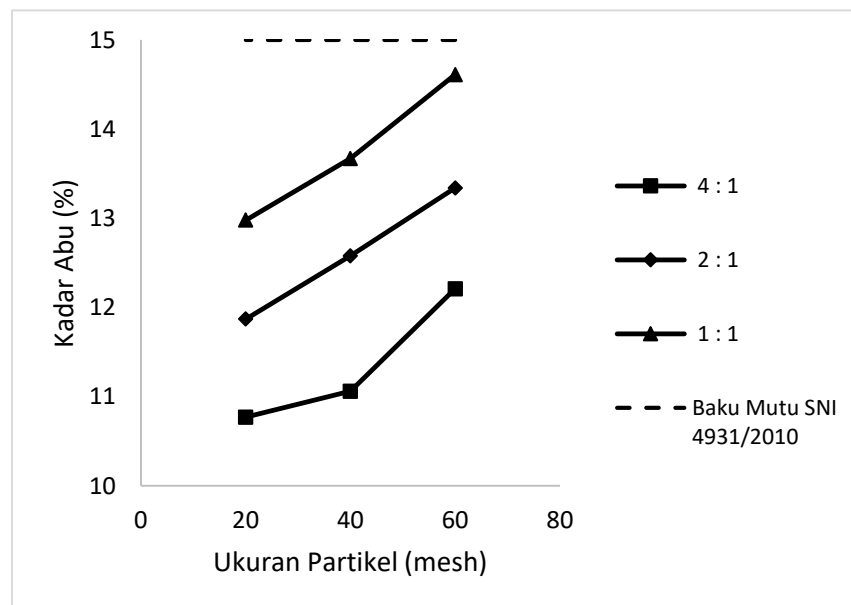
**Gambar 1.** Kadar air produk briket dengan berbagai rasio bahan baku

### 3.4. Pengaruh Komposisi Campuran terhadap Kadar Abu

Hasil pengujian kadar abu pada briket dengan variasi campuran dan ukuran partikel sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.

Berdasarkan data hasil analisa kadar abu produk briket dengan berbagai rasio bahan baku, briket yang dibuat dari perbandingan *used carbon* dan *sludge* 1:1 dengan ukuran partikel 60 mesh memiliki nilai kadar abu tertinggi yaitu 12,2025%, sedangkan nilai kadar abu terendah yaitu briket dengan perbandingan 4:1 dengan ukuran partikel 20 mesh. Namun, dapat dilihat pada grafik bahwa semua komposisi pada masing-masing ukuran partikel telah memenuhi standar baku mutu berdasarkan SNI 4931 Tahun 2010 yaitu sebesar 15%. Kadar abu briket tergantung pada kadar abu yang terdapat pada bahan baku yang digunakan [9]. Apabila ditinjau dari kadar abu kedua limbah industri bioteknologi tersebut, *used carbon* memiliki kadar abu sebesar 10,04%, sedangkan *sludge* memiliki kadar abu sebesar 13,7%. *Sludge* memiliki nilai kadar abu yang lebih besar dibanding *used carbon*, sehingga akan mempengaruhi kadar abu briket yang dihasilkan.

Briket dengan perbandingan 1:1 pada ukuran partikel 60 mesh, 40 mesh dan 20 mesh memiliki kadar abu yang paling tinggi dibanding perbandingan 2:1 dan 4:1. Kandungan abu yang terlalu tinggi pada briket sangat tidak baik karena dapat membentuk kerak saat dilakukan pembakaran (potensi *slagging* dan *fouling*) yang dapat menurunkan kualitas dari briket [10]. Selain itu, berdasarkan hasil analisa kadar abu diperoleh hubungan antara ukuran partikel dengan kadar abu briket, yaitu semakin kecil ukuran partikel, maka kadar abu briket semakin tinggi, hal ini karena semakin kecil ukuran partikel maka briket akan terbakar atau mengering secara sempurna ketika di oven dan menyisahkan hasil pembakaran berupa abu yang lebih banyak dibanding briket dengan ukuran partikel lebih besar [11].

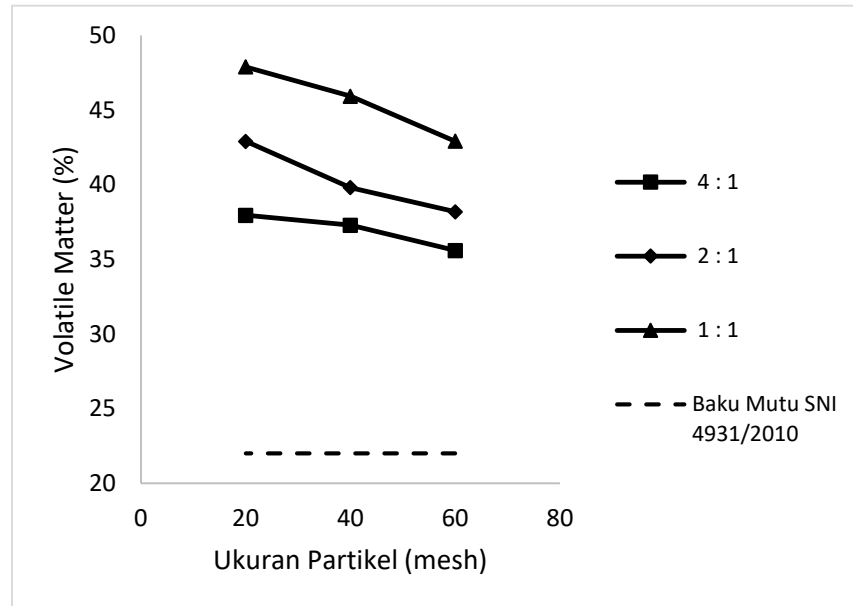


**Gambar 2.** Kadar abu produk briket dengan berbagai rasio bahan baku

### 3.5. Pengaruh Komposisi Campuran terhadap *Volatile Matter*

Berdasarkan data hasil analisa *volatile matter*, diperoleh hubungan antara *volatile matter* terhadap variasi ukuran partikel masing-masing campuran yang ditunjukkan pada Gambar 3.

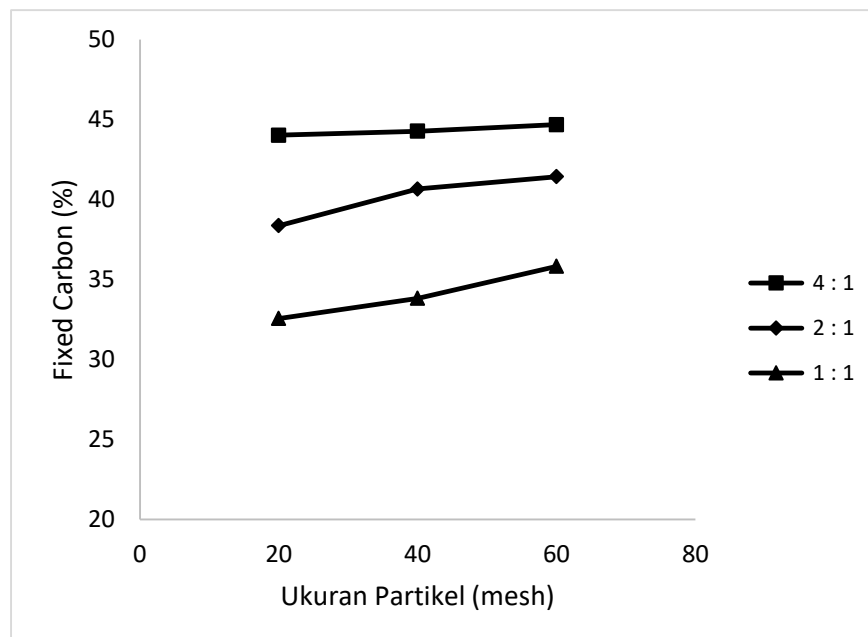
*Volatile matter* briket campuran *used carbon* dan *sludge* berada diantara nilai 35,59% - 47,89% dan tidak memenuhi batu mutu SNI 4931 Tahun 2010 dimana nilai maksimal *volatile matter* sebesar 22% [12]. *Volatile matter* briket terendah dihasilkan dari campuran *used carbon* dan *sludge* 4:1 pada ukuran partikel 60 mesh sebesar 35,59% dan tertinggi pada campuran *used carbon* dan *sludge* 1:1 dengan ukuran partikel 20 mesh sebesar 47,89%. Faktor jenis bahan baku berpengaruh nyata terhadap *volatile matter* briket yang dihasilkan [13]. Tingginya kandungan *volatile matter* pada briket dapat menimbulkan asap lebih banyak pada saat briket dinyalakan, hal ini disebabkan oleh adanya reaksi antara karbon monoksida (CO) dengan turunan alkohol yang ada pada briket [14]. Dari hasil analisa tersebut menunjukkan bahwa, briket dengan nilai *volatile matter* terbaik yaitu pada komposisi campuran 4:1 dengan ukuran partikel 60 mesh, karena semakin kecil nilai *volatile matter*, maka ignisi pembakaran briket semakin besar dan semakin baik suatu briket [7].



**Gambar 3.** *Volatile matter* produk briket dengan berbagai rasio bahan baku

### 3.6. Pengaruh Komposisi Campuran terhadap *Fixed Carbon*

Hasil penelitian berikutnya menunjukkan persen *fixed carbon* terhadap ukuran partikel briket pada masing-masing komposisi yang ditunjukkan pada Gambar 4.



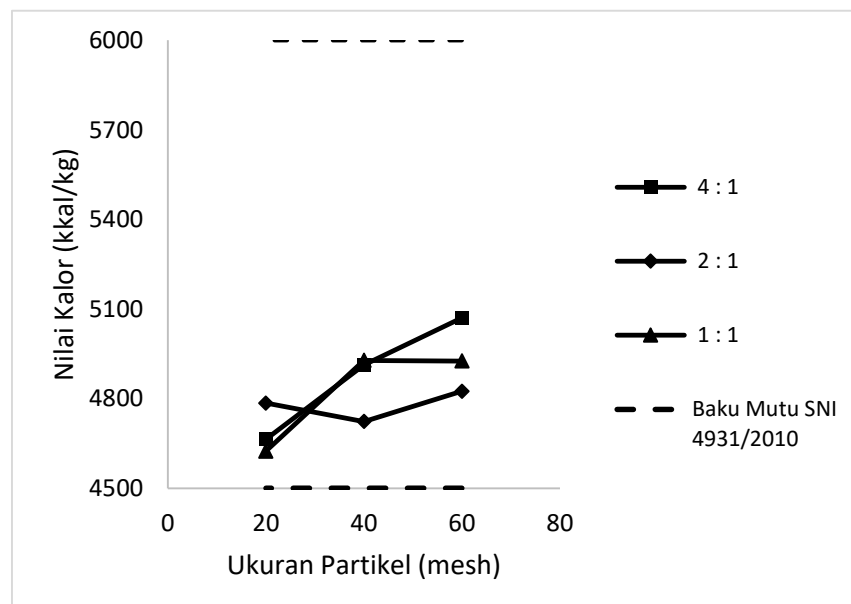
**Gambar 4.** *Fixed carbon* produk briket dengan berbagai rasio bahan baku

Hasil analisa *fixed carbon* produk briket dengan berbagai rasio bahan baku menunjukkan bahwa dari 3 perbandingan komposisi bahan baku, *fixed carbon* terbesar terdapat pada perbandingan 4:1 dengan ukuran partikel 60 mesh yaitu sebesar 44,68%. Sedangkan *fixed carbon* terendah terdapat pada perbandingan 1:1 dengan ukuran partikel 20 mesh yaitu 32,57%. Pada grafik tersebut juga menunjukkan bahwa perbandingan 4:1 memiliki *fixed carbon* yang paling tinggi dibanding perbandingan komposisi 2:1 dan 1:1. Hal ini karena pada perbandingan 4:1, komposisi *used carbon* lebih

banyak dibanding *sludge*, sehingga dapat dikatakan semakin tinggi komposisi *used carbon*, maka semakin tinggi *fixed carbon* dari briket. Selain itu, ukuran partikel juga berpengaruh terhadap *fixed carbon*, dimana semakin kecil ukuran partikel maka semakin tinggi *fixed carbon*. Briket dengan ukuran partikel bahan baku yang kecil menyebabkan proses karbonisasi lebih lama [15]. Kadar *fixed karbon* juga dipengaruhi oleh kandungan kadar air, kadar abu dan *volatile matter*, semakin tinggi kadar air, kadar abu dan *volatile matter* maka *fixed carbon* yang dihasilkan akan semakin rendah [16]. Semakin besar nilai *fixed carbon* menunjukkan semakin banyak energi yang dapat digunakan dalam pembakaran melalui reaksi pembakaran bahan bakar. Pada reaksi pembakaran semakin banyak kandungan karbon maka semakin besar konversi karbon menjadi karbon dioksida yang disertai pelepasan dalam bentuk energi [7].

### 3.7. Pengaruh Komposisi Campuran terhadap Nilai kalor

Hasil uji nilai kalor pada briket campuran *used carbon* dan *sludge* ditunjukkan pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Nilai kalor produk briket dengan berbagai rasio bahan baku

Berdasarkan analisa nilai kalor menunjukkan bahwa, nilai kalor tertinggi terdapat pada briket dengan variasi perbandingan bahan baku *used carbon* dan *sludge* 4:1 dengan ukuran partikel 60 mesh dengan nilai kalor 5.070,52 kal/g. Nilai kalor terendah pada briket variasi perbandingan 1:1 ukuran partikel 20 mesh dengan nilai kalor 4.624,19 kal/g. Briket berbahan baku *used carbon* dan *sludge* sudah memenuhi standar SNI 4931 Tahun 2010 untuk semua variasi perbandingan bahan baku dan ukuran partikel, dimana untuk variasi perbandingan 4:1, 2:1 dan 1:1 pada ukuran partikel 20 mesh, 40 mesh dan 60 mesh memiliki nilai kalor diantara standart SNI yaitu 4500 - 6000 kal/g. Briket dengan perbandingan bahan baku 4:1 memiliki nilai kalor yang lebih besar daripada perbandingan lainnya, hal ini disebabkan tingginya kandungan karbon dan nilai kalor pada bahan baku *used carbon*. Semakin banyak komposisi *used carbon* yang digunakan, maka semakin tinggi nilai kalor briket yang dihasilkan. Nilai kalor yang tinggi disebabkan karena kandungan karbon pada briket tersebut tinggi atau dipengaruhi oleh energi yang dimiliki



oleh bahan penyusunnya [17]. Nilai kalor juga dipengaruhi oleh *fixed carbon* briket, dimana briket dengan variasi perbandingan 4:1 ukuran partikel 60 mesh memiliki *fixed carbon* yang paling tinggi yaitu 44,02%. Karbon yang tinggi dalam briket menyebabkan karbon mudah bereaksi dengan oksigen membentuk gas dan kalor ketika proses pembakaran [18]. Kadar abu juga menjadi faktor yang mempengaruhi nilai kalor, semakin rendah kadar abu maka akan menghasilkan nilai kalor yang tinggi dan sebaliknya [19]. Oleh karena itu, briket dengan perbandingan 4:1 dengan kadar abu yang rendah menghasilkan nilai kalor yang tinggi. Selain itu, nilai kalor juga dipengaruhi oleh ukuran partikel dan *volatile matter*, dimana semakin kecil ukuran partikel menyebabkan *volatile matter* semakin kecil dan nilai kalor meningkat. *Volatile matter* yang terlalu tinggi akan membuat kadar karbon atau *fixed carbon* dalam briket menurun sehingga menyebabkan nilai kalor juga rendah [20].

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Limbah industri bioteknologi berupa *used carbon* dan *sludge* dapat dijadikan sumber energi alternatif dalam bentuk briket dengan kualitas briket terbaik yaitu briket dengan ukuran partikel 60 mesh dengan perbandingan komposisi bahan baku 4:1 diperoleh hasil analisa kadar air 7,52%, kadar abu 12,21%, *volatile matter* 35,59% dan *fixed carbon* 44,68% serta nilai kalor 5.070,52 kal/g yang telah memenuhi standar SNI 4931 Tahun 2010. Kualitas briket terburuk yaitu briket dengan ukuran partikel 20 mesh dengan perbandingan komposisi bahan baku 1:1 diperoleh hasil analisa kadar air 6,56%, kadar abu 12,98%, *volatile matter* 47,89% dan *fixed carbon* 32,57% serta nilai kalor 4.624,19 kal/g.

Kadar *volatile matter* yang tinggi pada briket dapat dicegah dengan melakukan *pretreatment* yang dapat menurunkan *volatile matter* bahan baku *used carbon* dan *sludge* berupa proses pirolisis. Selain itu, perlu dilakukan analisa tambahan berupa analisa beban pecah dan kadar belerang total yang dapat mendukung analisa kualitas briket.

#### REFERENSI

- [1] S. Agustina, "Proses Aktivasi Ulang Arang Aktif Bekas Adsorpsi Gliserin Dengan Metode Pemanasan," *J. Kim. dan Kemasan*, vol. 27, no. 1, hal. 10–18, 2005.
- [2] ASTM 3173, *Standard Test Method for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke*. 2013, hal. 7–9.
- [3] ASTM 3174, *Standard Test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke from Coal 1*, vol. 14. 2013, hal. 1–5.
- [4] ASTM 3175, *Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis Sample of Coal and Coke*. 2007, hal. 1–5.
- [5] ASTM 3172, *Standard Practice for Proximate Analysis of Coal and Coke 1*, vol. 89, no. Reapproved. 2002, hal. 1–2.
- [6] ASTM 5865, *Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke*. 2013, hal. 1–5.
- [7] M. Miharja, "Energi Alternatif Di Desa Kusu , Maluku Utara," *J. Techno*, vol. 05, no. 1, hal. 15–21, 2000.
- [8] U. Salamah, Muldarisnur, Mora, dan Y. Yetri, "Pengaruh Ukuran Partikel Kulit Buah Kakao Terhadap Sifat Fisik , Mekanik dan Termal Papan Partikel dari Kulit Buah Kakao

- dan Serat Ampas Tebu,” *Fus. Unand*, vol. 8, no. 3, hal. 205–211, 2019.
- [9] D. Rahmaulina, E. Hartati, dan D. Marganingrum, “Study of Utilization Textile Industry Sludge from WWTP as Raw Material for Briquettes,” *J. Teknol. Lingkung.*, vol. 23, no. 1, hal. 35–43, 2022.
- [10] M. Faizal, M. Saputra, dan F. A. Zainal, “Pembuatan Briket Bioarang dari Campuran Batubara dan Biomassa Sekam Padi dan Eceng Gondok,” *J. Tek. Kim.*, vol. 21, no. 4, hal. 28–39, Des 2015.
- [11] L. O. Sabindo dan M. Hasbi, “Pengaruh Variasi Ukuran Mesh Terhadap Nilai Kalor Briket Arang Tempurung Kelapa Abstrak,” *J. Ilm. Mhs. Tek. Mesin*, vol. 5, no. 1, hal. 1–8, 2020.
- [12] SNI 4931/2010, “SNI 4931 Tahun 2010 tentang Briket Batubara Klasifikasi, Syarat Mutu dan Metode Pengujian,” hal. 1–6, 2010.
- [13] D. Hendra, “Pembuatan Briket Arang dari Campuran Kayu, Bambu, Sabut Kelapa dan Tempurung Kelapa sebagai Sumber Energi Alternatif,” *J. Penelit. Has. Hutan*, vol. 25, no. 3, hal. 242–255, 2007.
- [14] R. Arifah, “Keberadaan karbon terikat dalam briket arang dipengaruhi oleh kadar abu dan kadar zat yang menguap,” *J. Wahana Inov.*, vol. 6, no. 2, hal. 365–377, 2017.
- [15] D. Purwanto, “Pengaruh Ukuran Partikel Tempurung Sawit dan Tekanan Kempa terhadap Kualitas Biobriket ( Effect of Particle Size Palm Shell and Hydrolyc Pressure on Quality Biobriquette ),” *J. Penelit. Has. Hutan*, vol. 33, no. 4, hal. 303–313, 2015.
- [16] E. Thoyeb, H. F. Hanum, dan Y. Zalfiatri, “Perbedaan Ukuran Partikel Terhadap Kualitas Briket Arang Batang Pisang,” *J. Jom Faperta*, vol. 8, no. 2, hal. 1–16, 2021.
- [17] I. W. Marchel, P. Freeke, dan T. Dedie, “Analisis Perbedaan Jenis Bahan dan Massa Pencetakan Briket terhadap Karakteristik Pembakaran Briket pada Kompor Biomassa,” *J. Tek. Pertan.*, vol. 10, no. 7, hal. 9–20, 2019.
- [18] R. D. Maulidya, A. Setiawan, dan V. Setiani, “Analisis Nilai Kalor dari Briket Ampas Tebu dan Tempurung Kelapa,” *Natl. Conf. Proceeding Waste Treat. Technol.*, vol. 28, no. 1, hal. 73–76, 2015.
- [19] S. Suluh dan M. Pineng, “Analisis tempurung kelapa sebagai sumber energi alternatif ditinjau dari variasi penguat,” *Pros. Semin. Has. Penelit.*, vol. 3, no. 2, hal. 217–222, 2017.
- [20] E. Junary, J. Pane, dan N. Herlina, “Pengaruh Suhu dan Waktu Karbonisasi terhadap Nilai Kalor dan Karakteristik pada Pembuatan Bioarang Berbahan Baku Pelepah Aren (*Arenga pinnata*),” *J. Tek. Kim. USU*, vol. 4, no. 2, hal. 46–52, 2015.