

## Mutu Biopellet dari Campuran Cangkang Buah Karet dan Bambu Ater (*Gigantochloa atter*)

### *The Quality of Biopellet from Rubber Seed Shell and Ater Bamboo (Gigantochloa atter)*

I Dewa Gede Putra Prabawa<sup>a,\*</sup>, Miyono<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Balai Riset dan Standardisasi Industri Banjarbaru  
Jl. Panglima Batur Barat No 2, Banjarbaru, Indonesia

\*Email: [dewa.pprabawa@gmail.com](mailto:dewa.pprabawa@gmail.com)

Diterima 06 Desember 2017 Direvisi 24 Januari 2018 Disetujui 20 Februari 2018

#### ABSTRAK

Karakteristik awal menunjukkan cangkang buah karet (CBK) memiliki potensi yang baik digunakan sebagai bahan utama biopellet dengan kandungan abu yang rendah dan nilai kalori yang tinggi sedangkan bambu ater (*Gigantochloa atter*) berpotensi digunakan sebagai bahan tambahan biopellet karena kandungan ligninnya yang tinggi sehingga dapat digunakan sebagai perekat alami. Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari pemanfaatan CBK dan bambu ater sebagai biopellet dan menganalisis mutu biopellet yang dihasilkan. Komposisi campuran CBK dan bambu ater yang diteliti adalah 100%:0%, 95%:5%, 90%:10%, 85%:15%, dan 80%:20%. Proses pembuatan biopellet dilakukan pada tekanan 597,24 kg/cm<sup>2</sup>, suhu 150°C selama 10 menit. Biopellet terbaik dihasilkan pada formulasi 85% CBK dan 15% bambu ater dengan kualitas kadar air 4,23%; kadar abu 0,84%; kadar zat terbang 79,44%; kadar karbon terikat 15,48%; nilai kalori 4472,41 kal/g; diameter 8,30 mm; panjang 32,66 mm; *bulk density* 1063,87 kg/m<sup>3</sup>; *mechanical durability* 91,93%; nitrogen 0,21%; sulfur 0,05%; dan klorin kurang dari 0,10 ppm. Kualitas biopellet tersebut memenuhi standar Indonesia (SNI 8021 : 2014) sedangkan berdasarkan standar Eropa (EN 14961-2), biopellet memiliki satu parameter yang belum memenuhi standar yaitu *mechanical durability* (min. 96,5%).

**Kata Kunci** : Biopellet, energi alternatif, cangkang buah karet, bambu ater (*Gigantochloa atter*)

#### ABSTRACT

*Material characteristic showed that the rubber seed shell (RSS) has good potential to be used as the main material of biopellet with low ash content and high calorific value, while ater bamboo (Gigantochloa atter) has good potential to be used as biopellet additive because has high lignin content, so that it can be used as natural adhesive. The purposes of this research were to study the utilization of CBK and ater bamboo into biopellet and to analyze the quality of biopellet that has been produced. The compositions of CBK and ater bamboo were 100%:0%, 95%:5%, 90%:10%, 85%:15%, and 80%:20%. Pelletization process was done at pressure 597.24 kg/cm<sup>2</sup>, temperature 150°C, for 10 minutes. The best quality of biopellet was produced on the formulation of 85% CBK and 15% ater bamboo. It has 4.23% of moisture content; 0.84% of ash; 79.44% of volatile substances; 15.48% of fixed carbon; 4472.41 kal/g of calorific value; 8.30 mm of diameter; 32.66 mm of length; 1063.87 kg/m<sup>3</sup> of bulk density; 91.93% of mechanical durability; 0.21% of nitrogen; 0.05% of sulphur; and chlorine content was less than 0.10 ppm. The best quality of biopellet has fulfilled the requirement of Indonesian Standards (SNI 8021: 2014), while based on European standards (EN 14961-2), biopellet had one parameter that didn't fulfill the requirement, the mechanical durability (min. 96.5%).*

**Keywords** : Biopellet, alternative energy, rubber seed shell, ater bamboo (*Gigantochloa atter*)

## I. PENDAHULUAN

Permintaan energi yang terus meningkat dihadapkan pada permasalahan eksploitasi bahan bakar fosil yang bersifat tidak dapat diperbaharui secara besar-besaran dan dihasilkan limbah sampingan dari penggunaannya, seperti bahan bakar batu bara yang dapat menghasilkan emisi gas  $SO_2$  dan  $NO_x$  yang jika terakumulasi dapat mengakibatkan terjadinya hujan asam (Susila, Medhina, Adilla, Sihombing, & Lestari, 2011). Pembakaran batu bara juga akan menghasilkan limbah padat berupa abu terbang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*) yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan (Sjaifudin & Sugiyana, 2016). Permasalahan utama yang diakibatkan dari pertumbuhan penggunaan sumber energi bahan bakar fosil berdampak langsung terhadap terjadinya perubahan iklim (Bantacut, Hendra, & Nuwigha, 2013). Salah satu sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan dan keberadaannya melimpah di alam adalah biomassa. Biomassa merupakan satu-satunya sumber energi terbarukan yang berbasis karbon dan ketersediaannya melimpah di alam (Van Der Stelt, Gerhauser, Kiel, & Ptasinski, 2011).

Tantangan dalam pengembangan biomassa sebagai bahan bakar diantaranya konversi energi yang dihasilkan masih rendah jika dibakar secara langsung dan membutuhkan area penyimpanan yang besar sehingga berkaitan dengan permasalahan distribusi dan transportasi (Saptoadi, 2008). Permasalahan ini disebabkan oleh rendahnya *bulk density* (kerapatan) dari material biomasa. Biomasa dapat diolah menjadi biopellet untuk meningkatkan kualitasnya. Pengolahan biopellet akan meningkatkan *bulk density* biomassa sehingga dapat mengurangi area penyimpanan yang diperlukan dan memperbaiki kualitas pembakarannya (Liu, Fei, Jiang, Cai, & Liu, 2014). Penggunaan biopellet telah banyak berkembang seperti di Jerman dan Austria sebagai alternatif bahan bakar (Mani, Tabil, & Sokhansanj, 2006). Pemanfaatannya diantaranya sebagai bahan bakar boiler, alternatif

bahan bakar kompor masak, dan telah banyak digunakan sebagai substitusi batu bara untuk bahan bakar penghangat ruangan pada perumahan (*residential*).

Berdasarkan data *International Energy Agency (IEA) Bioenergy Task 40, Global Wood Pelet Industry Market and Trade Study* di tahun 2011, jumlah produksi biopellet dunia mendekati 20 juta ton sedangkan pada tahun 2020, jumlah kebutuhan biopellet dunia diperkirakan meningkat hingga 80 juta ton (Sukarta & Oka, 2017). Melihat tingginya kebutuhan biopellet dunia, Indonesia memiliki peluang yang sangat besar untuk turut serta memenuhi kebutuhan tersebut. Hal ini juga didukung oleh tingginya sumber biomassa yang dimiliki oleh Indonesia, seperti dari limbah pertanian yang mencapai 50.000 MW (Winata, 2013).

Diantara sumber biomasa yang tersedia, cangkang buah karet dan bambu belum banyak diteliti penggunaannya. Cangkang buah karet (CBK) yang dihasilkan dari tanaman karet (*Hevea brasiliensis*) selama ini hampir tidak memiliki nilai ekonomis dan kurang dimanfaatkan secara optimal khususnya di Indonesia yang memiliki luas perkebunan karet lebih dari 3,6 juta Ha pada tahun 2016 (Kementan, 2015). Beberapa penelitian telah melaporkan pemanfaatan CBK diantaranya sebagai bahan komposit dengan plastik polietilen (*HDPE/CBK*) (Xu, Tu, Chen, Zhong, & Lu, 2016) dan sebagai asap cair untuk koagulan lateks (Prasetyowati, Hermato, & Farizy, 2014). Bahan lainnya yaitu bambu, merupakan tumbuhan yang dapat ditemukan hampir diseluruh wilayah Indonesia dan ketersediaannya selalu ada sepanjang tahun, baik yang berasal dari budidaya perkebunan atau tumbuh secara alami. Bambu diketahui memiliki kandungan lignin yang tinggi sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengikat/perekat alami dalam pembuatan biopellet. Beberapa jenis bambu telah diketahui kandungan ligninnya seperti bambu kuning (21,23%), bambu hitam (24,33%), dan bambu tali (24,87%) (Suparno & Danieli, 2017). Bambu yang dimanfaatkan dalam penelitian ini adalah jenis bambu ater (*Gigantochloa atter*) yang

banyak ditemukan di Kalimantan Selatan. Tingginya ketersediaan CBK dan bambu ater juga menunjukkan potensi yang baik untuk dikembangkan pemanfaatannya sebagai sumber energi dalam bentuk biopelet.

Berdasarkan uraian tersebut, tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari pemanfaatan CBK dan bambu ater sebagai biopelet serta menganalisis kualitas biopelet yang dihasilkan berdasarkan standar biopelet Indonesia (SNI 8021:2014) dan standar Eropa (EN 14961-2).

## II. BAHAN DAN METODE

### 2.1. Bahan

Bahan baku yang digunakan adalah cangkang buah karet (CBK) yang diambil dari perkebunan rakyat di Kecamatan Cempaka, Kota Banjarbaru dan bambu ater (*Gigantochloa atter*) diambil berupa serbuknya pada kelompok perajin bambu di Kecamatan Kandungan, Kabupaten Hulu Sungai Selatan, Provinsi Kalimantan Selatan. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Aneka Komoditi dan Laboratorium Proses, Baristand Industri Banjarbaru.

### 2.2 Metode

Tahapan Penelitian yang dilakukan meliputi persiapan bahan baku (pegecilan ukuran partikel), analisis proksimat dan kandungan kimia, produksi biopelet, analisis kualitas biopelet, dan analisis formulasi biopelet terbaik.

#### 2.2.1 Persiapan dan analisis bahan baku

Buah karet dipisahkan antara cangkang dan bijinya sedangkan serbuk bambu dibersihkan dari sisa kulit, *chips*, dan daunnya. CBK dan serbuk bambu ater yang telah bersih kemudian dikeringkan hingga kadar air bahan kurang dari 10%. Selanjutnya cangkang buah karet yang telah kering dihancurkan dalam *willey mill* dan *crusher*. Bahan kemudian disaring hingga didapat ukuran dengan lolos ayakan 25 mesh. Bahan baku dianalisis kandungan proksimatnya untuk mengetahui kadar air, kadar abu, kadar zat terbang, karbon terikat, dan nilai kalori

menggunakan metode SNI 8021:2014. Sedangkan kandungan kimia meliputi selulosa, hemiselulosa, dan lignin dianalisis menggunakan metode Chesson-Datta (Widyawati & Argo, 2014).

#### 2.2.2 Produksi biopelet

Serbuk CBK dan bambu ater disiapkan dengan formulasi (berdasarkan berat) A (100%:0%), B (95%:5%), C (90%:10%), D (85%:15%), dan E (80%:20%). Campuran kemudian dihomogenkan terlebih dahulu dan ditambahkan air sebanyak 10% (b.b) dari berat campuran. Campuran bahan yang telah disiapkan dimasukkan ke dalam cetakan pelet yang memiliki diameter silinder 0,80 cm dan tinggi 10 cm, kemudian di-press dengan press hidrolik merek carver pada tekanan 597,24 kg/cm<sup>2</sup>, suhu 150°C, selama 10 menit. Biopelet yang dihasilkan kemudian didiamkan di ruang terbuka pada temperatur suhu 25-28°C selama 30 menit untuk menstabilkan suhu biopelet, selanjutnya dikemas dan diuji kualitasnya.

#### 2.2.3 Analisis kualitas biopelet

Analisis kualitas biopelet yang dilakukan meliputi kadar air, kadar abu, kadar zat terbang, karbon terikat, dan nilai kalori dengan metode sesuai SNI 8021:2014. Analisis parameter lainnya dilakukan untuk membandingkan kualitas biopelet berdasarkan parameter utama standar Eropa (EN 14961-2, 2013) yaitu dimensi yang dianalisis dengan metode EN 14127, *bulk density* dengan metode EN 15103, nitrogen dengan metode EN 15104, sulfur dengan metode ASTM D516-02, klorin diuji dengan metode teskit klorin merk code 1.14978.0001 yang memiliki kepekaan analisis 0,1 ppm – 2,0 mg/L Cl<sub>2</sub>, dan *mechanical durability* dianalisis melalui uji ayakan (*vibrating sieve*) dengan ukuran screen 3,36 mm (6 mesh) selama 10 menit (Liu et al., 2014).

#### 2.2.4 Analisis formula biopelet terbaik

Pengolahan data hasil penelitian dilakukan secara statistik menggunakan Rancangan Acak Lengkap (ANOVA) dengan satu faktor penelitian (*one way ANOVA*) yaitu campuran bahan CBK dan

bambu ater dengan 5 komposisi dan 3 kali ulangan. Perlakuan yang memiliki pengaruh signifikan terhadap parameter yang diteliti dilakukan analisis lanjutan dengan uji homegenitas/*Tuckey* (Ginting & Rahayu, 2012). Biopelet terbaik dipilih melalui metode *scoring* atau rekapitulasi penilaian (skor 1-5), kualitas masing-masing biopelet berdasarkan standar biopelet Indonesia (SNI 8021: 2014) dan standar biopelet Eropa (EN 14961-2).

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Karakteristik Bahan Baku

Bahan baku CBK dan bambu ater yang telah dipreparasi hingga bentuk serbuk lolos ayakan 25 mesh diuji karakteristiknya untuk mengetahui komposisi kimia bahan baku yang digunakan sebagai bahan biopelet. Parameter yang dianalisis meliputi kadar air, abu, zat terbang, karbon terikat, nilai kalori, selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Hasil analisis ditampilkan dalam Tabel 1.

Komponen lignoselulosa bahan alam (lignin, selulosa, dan hemiselulosa) mengandung unsur utama karbon dan hidrogen yang merupakan unsur utama proses pembakaran dimana karbon berkorelasi positif terhadap nilai kalori biomassa (Wang, Wang, Yang, & Liang, 2009). Kandungan lignin dari bahan alam memiliki kontribusi kalori yang lebih tinggi dibandingkan dengan selulosa karena lignin memiliki unsur karbon yang lebih tinggi dari selulosa (Pasangulapati et al., 2012), selain itu, lignin juga dapat dimanfaatkan sebagai sumber bahan perekat atau pengikat alami (Anita, Yanto,

& Fatriasari, 2011).

Berdasarkan hasil uji karakteristik bahan baku, kandungan lignin bambu ater lebih tinggi dari CBK, yaitu sebesar 24,73% berbanding 18,74%. Kandungan lignin bambu ater juga tergolong lebih tinggi jika dibandingkan dengan beberapa jenis bambu yang banyak ditemukan di Indonesia seperti bambu kuning (*Bambusa vulgaris*) dan bambu hitam (*Gigantochloa atroviolacea*), namun masih sedikit lebih rendah dibandingkan bambu tali (*Gigantochloa apus*), dan bambu andong (*Gigantochloa pseudoarundinaceae*) (Tabel 2). Kandungan lignin yang tinggi menunjukkan bambu ater memiliki potensi yang baik digunakan sebagai penguat/perekat alami dalam pembuatan biopelet. Selulosa dan hemiselulosa merupakan komponen utama lainnya dalam bahan alam berlignoselulosa. Selain memberikan pengaruh terhadap nilai kalori, kandungan selulosa juga memberikan pengaruh terhadap kadar air atau sifat higroskopis biopelet (Nasir, 2015). Hasil penelitian menunjukkan CBK memiliki kadar selulosa dan hemiselulosa masing-masing 38,11% dan 26,09%, sedangkan bambu ater memiliki kadar selulosa dan hemiselulosa yaitu 42,59% dan 15,19%. Kandungan selulosa bambu ater lebih tinggi dibandingkan dengan bambu tali dan bambu andong, sedangkan kandungan hemiselulosa bambu ater tergolong paling rendah dibandingkan dengan bambu lainnya. Perbandingan potensi kandungan lignin, selulosa, dan hemiselulosa beberapa jenis bambu disajikan pada Tabel 2.

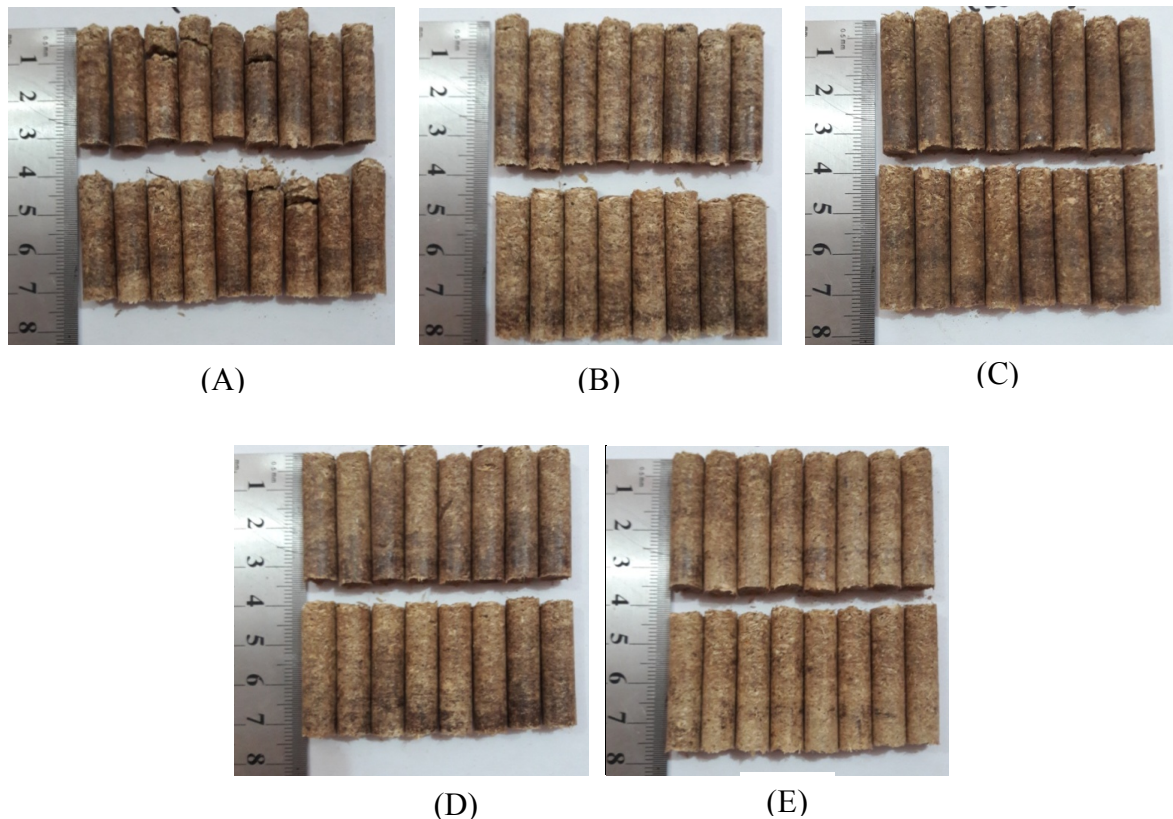
Tabel 1. Analisis Karakteristik Bahan Baku

| Parameter         | Satuan      | Komposisi Kimia Bahan |            |
|-------------------|-------------|-----------------------|------------|
|                   |             | CBK                   | Bambu Ater |
| Lignin            | %           | 18,74                 | 24,73      |
| Selulosa          | %           | 38,11                 | 42,59      |
| Hemiselulosa      | %           | 26,09                 | 15,19      |
| Kadar air         | %           | 7,39                  | 6,89       |
| Kadar abu         | %           | 0,58                  | 1,75       |
| Kadar zat terbang | %           | 79,64                 | 77,37      |
| Kalori            | kalori/gram | 4283,76               | 4054,49    |
| Karbon terikat    | %           | 12,39                 | 13,99      |

Tabel 2. Kandungan Kimia Bambu Ater, Bambu Kuning, Bambu Hitam, dan Bambu Tali

| Kandungan Kimia  | Bambu Ater | Bambu Kuning <sup>(a)</sup> | Bambu Hitam <sup>(a)</sup> | Bambu Tali <sup>(a)</sup> | Bambu Andong <sup>(b)</sup> |
|------------------|------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| Selulosa (%)     | 42,59±0,51 | 47,33±0,11                  | 43,27±0,09                 | 42,45±0,05                | 38,91±2,43                  |
| Hemiselulosa (%) | 15,19±0,10 | 22,24±0,08                  | 21,16±0,03                 | 20,78±0,03                | 38,09±1,43                  |
| Lignin (%)       | 24,73±0,12 | 21,23±0,04                  | 24,33±0,07                 | 24,87±0,06                | 27,00±2,00                  |

Sumber : <sup>(a)</sup>Suparno & Danieli (2017), <sup>(b)</sup>Bahtiar et al. (2016)



Gambar 1. Biopelet dari Campuran CBK dan Bambu Ater dengan Formulasi (A) 100:0; (B) 95:5; (C) 90:10; (D) 85:15; (E) 80:20

Hasil karakteristik bahan baku menunjukkan cangkang buah karet dan bambu ater memiliki nilai kalori yang baik untuk keperluan biopelet, yaitu secara berturut-turut 4.283,76 kal/g dan 4.054,49 kal/g, selain itu CBK memiliki kadar abu yang rendah yaitu 0,58% sehingga baik digunakan sebagai bahan utama biopelet. Hasil analisis karakteristik parameter lainnya menunjukkan bahan baku CBK dan bambu ater yang digunakan memiliki nilai kadar air dan zat terbang yang tergolong baik jika dibandingkan dengan standar biopelet (SNI 8021: 2014). Sedangkan kadar karbon terikat yang terkandung pada

kedua bahan baku masih lebih rendah dari standar biopelet yaitu minimal 14%.

### 3.2. Biopelet dari Campuran Cangkang Buah Karet dan Bambu Ater

Biopelet dibuat dari bahan utama CBK dengan penambahan bambu ater sebagai penguat untuk meningkatkan sifat ketahanannya (*durability*). Hasil analisis karakteristik bahan baku (Tabel 1) menunjukkan bambu memiliki kandungan lignin yang tinggi (24,73%) sehingga dapat berfungsi sebagai perekat alami biopelet. Kandungan lignin akan meleleh dan bereaksi dengan campuran bahan selama

proses pencetakan pelet pada temperatur dan tekanan tinggi (Bantacut et al., 2013). Untuk menghasilkan biopelet dengan kualitas memenuhi standar Indonesia (SNI 8021: 2014) dan Eropa (EN 14961-2) diteliti 5 formulasi biopelet. Gambar 1 menunjukkan biopelet yang dihasilkan dari penelitian ini.

Biopelet yang dihasilkan pada penelitian ini memiliki rata-rata diameter 8,30 mm, sedangkan rata-rata panjang biopelet yang dihasilkan berkisar antara 29,90 – 34,80 mm. Hasil analisis dimensi biopelet ditampilkan pada Tabel 3.

Dimensi biopelet secara keseluruhan telah memenuhi standar yang dipersyaratkan. Hasil analisis pada Gambar 1 dan Tabel 3 menunjukkan penambahan bambu ater pada biopelet memberikan pengaruh terhadap tekstur biopelet yang dihasilkan. Biopelet A memiliki tekstur yang rapuh dan mudah patah, hal ini dipengaruhi oleh tidak adanya campuran bambu ater, sehingga menyebabkan berkurangnya sifat *adhesive* dari campuran bahan biopelet. Dimensi yang dihasilkan pada biopelet A juga relatif lebih pendek akibat banyaknya patahan yang dihasilkan. Bambu ater memiliki kandungan lignin yang lebih tinggi dibandingkan dengan CBK sehingga peningkatan konsentrasi bambu ater dalam formulasi biopelet dapat memperkuat tekstur yang dihasilkan.

### 3.3. Kualitas Biopelet

Kualitas biopelet dari setiap formulasi yang dibuat ditampilkan pada Tabel 4, data yang ditampilkan adalah rata-rata analisis dengan tiga kali ulangan pada setiap parameternya.

Kadar air biopelet yang dihasilkan berkisar antara 4,08% sampai 5,20%. Kadar air merupakan salah satu parameter yang berpengaruh terhadap nilai kalori, efisiensi pembakaran, suhu pembakaran,

dan kesetimbangan kelembaban yang berkaitan dengan kondisi penyimpanan biopelet (Bantacut et al., 2013). Nilai kadar air yang tinggi juga dapat meningkatkan polusi udara karena menimbulkan banyak asap pada saat pembakaran (Sa'adah, 2014). Secara keseluruhan kadar air yang terkandung pada setiap biopelet telah memenuhi standar Indonesia (SNI 8021 : 2014) maksimal 12% dan standar Eropa (EN 14961-2) maksimal 10%. Biopelet yang dihasilkan memiliki kadar air yang lebih rendah dibandingkan bahan bakunya. Penurunan kadar air tersebut disebabkan oleh proses pencetakan biopelet yang menggunakan suhu dan tekanan yang tinggi (150°C; 597,24 kg/cm<sup>2</sup>). Menurut Bantacut et al (2013), tingginya suhu dan tekanan berdampak pada berkurangnya kandungan air pada bahan baku yang dikempa menjadi bentuk biopelet.

Kadar abu pada biopelet yang dihasilkan berkisar antara 0,51% sampai 0,87%. Semakin tinggi kadar abu pada biopelet dapat menurunkan efisiensi pembakaran karena akan menghasilkan kerak (*slag*) pada dinding tungku pembakaran yang sulit dihilangkan (Bantacut et al., 2013). Biopelet dengan kadar abu yang tinggi tentunya tidak akan memenuhi persyaratan apabila digunakan sebagai bahan bakar pemanas ruangan (*residential heating*). Secara keseluruhan kadar abu yang terkandung pada setiap biopelet telah memenuhi standar Indonesia dan Eropa yaitu maksimal 1,5%. Kadar abu terendah diperoleh pada komposisi biopelet 100% CBK dan 0% bambu ater (biopelet A) sedangkan yang tertinggi diperoleh pada komposisi 80% CBK dan 20% bambu ater (biopelet E). Hasil analisis statistik menunjukkan semakin banyak penambahan bambu ater (0-20%) memberikan pengaruh terhadap semakin tinggi kadar abu biopelet yang dihasilkan.

Tabel 3. Hasil Analisis Dimensi Biopelet

| Parameter    | Satuan | SNI 8021 : 2014 | EN 14961-2    | Biopelet |       |       |       |       |
|--------------|--------|-----------------|---------------|----------|-------|-------|-------|-------|
|              |        |                 |               | A        | B     | C     | D     | E     |
| Diameter (D) | mm     | -               | 6 atau 8      | 8,30     | 8,30  | 8,30  | 8,30  | 8,30  |
| Panjang (L)  | mm     | -               | 3,15 ≤ L ≤ 40 | 29,90    | 34,80 | 33,06 | 32,66 | 34,06 |

Keterangan : tanda - = tidak dipersyaratkan

Tabel 4. Kualitas Biopelet dan *Scoring* Data Hasil Penelitian untuk Seluruh Biopelet

| Parameter Uji                       | SNI 8021 :<br>2014 | EN 14961-2  | Kualitas Biopelet      |                        |                        |                        |                        |
|-------------------------------------|--------------------|-------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
|                                     |                    |             | A                      | B                      | C                      | D                      | E                      |
| Kadar air (%)                       | Maks. 12           | Maks. 10    | 5,20 <sup>(1)</sup>    | 4,08 <sup>(5)</sup>    | 4,27 <sup>(3)</sup>    | 4,23 <sup>(4)</sup>    | 4,33 <sup>(2)</sup>    |
| Kadar abu (%)                       | Maks. 1,5          | Maks. 3     | 0,51 <sup>(5)</sup>    | 0,61 <sup>(4)</sup>    | 0,66 <sup>(3)</sup>    | 0,84 <sup>(2)</sup>    | 0,87 <sup>(1)</sup>    |
| Kadar zat terbang (%)               | Maks. 80           | -           | 79,54 <sup>(3)</sup>   | 80,34 <sup>*(1)</sup>  | 79,63 <sup>(2)</sup>   | 79,44 <sup>(5)</sup>   | 79,45 <sup>(4)</sup>   |
| Kalori (kal/g)                      | Min. 4000          | 3941≤Q≤4538 | 4445,55 <sup>(1)</sup> | 4526,44 <sup>(5)</sup> | 4460,53 <sup>(3)</sup> | 4472,41 <sup>(4)</sup> | 4450,36 <sup>(2)</sup> |
| Karbon terikat%                     | Min. 14            | -           | 14,75 <sup>(1)</sup>   | 14,97 <sup>(2)</sup>   | 15,44 <sup>(4)</sup>   | 15,48 <sup>(5)</sup>   | 15,38 <sup>(3)</sup>   |
| Bulk density (kg/m <sup>3</sup> )   | -                  | Min. 600    | 1037,21 <sup>(2)</sup> | 1049,48 <sup>(3)</sup> | 989,75 <sup>(1)</sup>  | 1063,87 <sup>(5)</sup> | 1058,55 <sup>(4)</sup> |
| Mechanical durability (%)           | -                  | Min. 96,5   | 79,77 <sup>*(1)</sup>  | 87,07 <sup>*(2)</sup>  | 87,36 <sup>*(3)</sup>  | 91,93 <sup>*(4)</sup>  | 91,94 <sup>*(5)</sup>  |
| Nitrogen (%)                        | -                  | Maks. 1,00  | 0,13 <sup>(4)</sup>    | 0,13 <sup>(4)</sup>    | 0,18 <sup>(3)</sup>    | 0,21 <sup>(2)</sup>    | 0,23 <sup>(1)</sup>    |
| Sulfur (%)                          | -                  | Maks. 0,04  | 0,09 <sup>(1)</sup>    | 0,07 <sup>(3)</sup>    | 0,08 <sup>(2)</sup>    | 0,05 <sup>(4)</sup>    | 0,09 <sup>(1)</sup>    |
| Klorin (%)                          | -                  | Maks. 0,03  | ND <sup>(1)</sup>      | ND <sup>(1)</sup>      | ND <sup>(1)</sup>      | ND <sup>(1)</sup>      | ND <sup>(1)</sup>      |
| <b>Total nilai (<i>scoring</i>)</b> |                    |             | <b>20</b>              | <b>30</b>              | <b>25</b>              | <b>36</b>              | <b>24</b>              |

Keterangan : tanda - = pengujian tidak dipersyaratkan

tanda \* = hasil pengujian tidak memenuhi standar EN 14961-2

tanda<sup>(1, 2, 3, 4, 5)</sup> = penilaian (*scoring*) data

ND = tidak terdeteksi

Hal tersebut dipengaruhi oleh karakteristik bahan yang digunakan, dari hasil karakteristik awal menunjukkan bambu ater memiliki kadar abu yang cukup tinggi dibandingkan dengan CBK, yaitu 1,75% berbanding 0,58% (Tabel 1) sehingga akan berkorelasi dengan meningkatnya kadar abu pada biopelet yang menggunakan komposisi bambu ater semakin banyak. Seluruh biopelet yang dihasilkan memiliki kadar abu yang rendah sehingga akan baik digunakan sebagai bahan bakar untuk keperluan residensial. Biopelet memiliki kadar abu yang lebih rendah dari beberapa biopelet yang dilaporkan untuk keperluan residensial, seperti biopelet bambu moso (*Phyllostachys heterocycla*) pada proses produksi terbaik memiliki kadar abu 1,34% (Liu et al., 2012), biopelet limbah batang sawit 4,69-8,73% (Zulfian, Diba, Setyawati, Nurhaida, & Roslinda, 2015), biopelet dengan ukuran serbuk bahan baku lolos 60 dan 80 mesh dari kayu jati 1,34% dan 0,99%, kayu akasia 1,94% dan 1,12%, serta kayu sengon 1,26% dan 1,69% (Hendra, 2012).

Kadar zat terbang pada biopelet yang dihasilkan berkisar antara 79,44% sampai 80,34%. Zat terbang adalah zat yang dapat menguap sebagai hasil dari dekomposisi senyawa-senyawa di dalam suatu bahan selain air (Hendra, 2012). Kadar zat terbang dalam bahan bakar menentukan

tingkat pembakaran, waktu pembakaran, dan kandungan asap yang dihasilkan selama pembakaran (Hansen, Jein, Hayes, & Bateman, 2009). Semakin tinggi kadar zat terbang akan menurunkan kualitas biopelet yang dihasilkan (Bantacut et al., 2013). Secara keseluruhan kadar zat terbang pada formulasi biopelet A, C, D, dan E telah memenuhi standar Indonesia yaitu maksimal 80%, sedangkan formulasi biopelet B sedikit diatas standar. Standar Eropa tidak mempersyaratkan pengujian parameter kadar zat terbang pada biopelet. Menurut Yuliza, Nazir, & Djalal (2013), kadar zat terbang dipengaruhi oleh jenis bahan baku dan proses karbonisasi (suhu dan waktu). Hasil analisis statistik menunjukkan penambahan bambu ater 0-20% tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap perubahan kadar zat terbang biopelet, hal tersebut dipengaruhi oleh kadar zat terbang bahan baku CBK dan bambu ater yang digunakan memiliki nilai yang tidak berbeda jauh yaitu secara berturut-turut 79,64% dan 77,37% (Tabel 1) dan proses pembuatan biopelet menggunakan suhu dan waktu proses yang tetap pada semua formulasi.

Kadar karbon terikat pada biopelet yang dihasilkan berkisar antara 14,75% sampai 15,48%. Semakin tinggi kadar karbon terikat, semakin baik kualitas pembakaran biopelet yang dihasilkan



(Bantacut et al., 2013). Secara keseluruhan kadar karbon terikat pada biopelet telah memenuhi standar Indonesia, yaitu minimal 14%, sedangkan standar Eropa tidak mempersyaratkan pengujian parameter tersebut. Kadar karbon terikat pada biopelet yang dihasilkan memiliki kecenderungan meningkat seiring penambahan konsentrasi bambu ater (0-20%). Walaupun terjadi peningkatan, namun dari hasil analisis statistik menunjukkan perbedaan kadar karbon terikat yang terjadi tidak berbeda secara signifikan pada setiap formulasinya.

Nilai *bulk density* pada biopelet yang dihasilkan berkisar antara 1036,46 kg/m<sup>3</sup> sampai 1063,87 kg/m<sup>3</sup>. *Bulk density* adalah massa partikel yang menempati suatu unit volume tertentu (Gilang, Affandi, & Ishartani, 2013). *Bulk density* yang semakin tinggi bermanfaat dalam meningkatkan kemudahan penanganan, penyimpanan, dan transportasi biopelet (Kaliyan & Morey, 2009). Nilai *bulk density* biopelet dapat dipengaruhi oleh tekanan saat proses pengempaan dan perbedaan ukuran partikel dari bahan yang digunakan. Secara keseluruhan nilai *bulk density* biopelet telah memenuhi standar Eropa yaitu minimal 600 kg/m<sup>3</sup>, sedangkan standar Indonesia tidak mempersyaratkan pengujian parameter tersebut. Hasil analisis statistik menunjukkan penambahan bambu ater (0-20%) pada pembuatan biopelet dari bahan utama CBK tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap perubahan nilai *bulk density* biopelet yang dihasilkan. Hal tersebut dipengaruhi oleh keseragaman ukuran partikel bahan baku yang digunakan (25 mesh) dan proses pengempaan dilakukan pada tekanan yang sama untuk setiap formulasi biopelet yaitu 597,24 kg/cm<sup>2</sup>.

Parameter lainnya yang mempengaruhi ketahanan dalam proses penyimpanan dan transportasi biopelet adalah *mechanical durability*. Parameter tersebut menunjukkan daya tahan biopelet terhadap guncangan/getaran dengan membandingkan persentase pelet yang rusak (Fordie, 2011). Nilai *durability* yang dihasilkan berkisar antara 79,77% sampai 91,94%. Secara keseluruhan nilai *durability*

yang dihasilkan belum dapat memenuhi standar Eropa yaitu minimal 96,50%, sedangkan standar Indonesia tidak mempersyaratkan pengujian parameter *mechanical durability*. Nilai tertinggi diperoleh pada komposisi biopelet 80% CBK dan 20% bambu ater (biopelet E), sedangkan yang terendah diperoleh pada komposisi 100% CBK dan 0% bambu ater (biopelet A). Hasil analisis statistik menunjukkan penambahan konsentrasi bambu ater (0-20%) memberikan pengaruh terhadap peningkatan nilai *durability* hingga 15,26% dibandingkan dengan formulasi biopelet tanpa penambahan bambu ater. Analisis data lanjutan (*Tuckey*) menunjukkan terdapat tiga kelompok data yang menghasilkan perbedaan signifikan, yaitu formulasi biopelet A, B-C, dan D-E. Peningkatan *durability* seiring dengan bertambahnya persentase bambu dalam biopelet diakibatkan oleh meningkatnya kandungan lignin dalam campuran bahan yang dapat menjadi penguat (perekat alami) dalam biopelet. Hal tersebut didukung oleh hasil karakteristik bambu ater yang memiliki kandungan lignin lebih tinggi dari bahan CBK, yaitu 24,73% berbanding 18,74%.

Parameter utama yang menentukan kualitas pembakaran biopelet adalah nilai kalori. Nilai kalori pada biopelet yang dihasilkan berkisar antara 4.445,55 kal/g sampai 4.526,44 kal/g. Kualitas nilai kalori biopelet dipengaruhi oleh nilai kalori/energi yang dimiliki oleh bahan penyusunnya, selain itu nilai kalori juga dipengaruhi oleh kadar air dan kadar abu dalam biopelet (Yuliza et al., 2013). Secara keseluruhan, nilai kalori pada biopelet telah memenuhi standar Indonesia (min. 4000 kal/g) dan standar Eropa (3941≤kalori≤4538 kal/g). Nilai kalori tertinggi diperoleh pada komposisi biopelet 95% CBK dan 5% bambu ater (biopelet B), sedangkan yang terendah diperoleh pada komposisi 100% CBK dan 0% bambu ater (biopelet A). Rendahnya nilai kalori pada biopelet A dipengaruhi oleh kandungan airnya yang paling tinggi jika dibandingkan dengan biopelet lainnya, yaitu 5,20%, begitu pula sebaliknya, biopelet B memiliki kadar air yang paling rendah, yaitu 4,08%, sehingga



menghasilkan nilai kalori tertinggi. Walaupun terdapat perbedaan nilai kalori yang dihasilkan pada setiap formulasi biopelet, namun secara statistik menunjukkan penambahan bambu ater (0-20%) tidak menghasilkan perubahan nilai kalori yang berbeda secara signifikan, kecuali biopelet B yang memiliki rata-rata nilai kalori sedikit lebih tinggi. Nilai kalori pada biopelet yang dihasilkan masih lebih baik dari biopelet limbah batang kelapa sawit 3.719,67 - 4.451,67 kal/g (Zulfian et al., 2015), biopelet limbah sekam padi 4.329,63 kal/g (Rahman, 2011), biopelet bambu moso (*Phyllostachys heterocycla*) 4.402,82 - 4.410,05 kal/g (Liu et al., 2014), biopelet kayu akasia 3.731,41-3.810,40 kal/g (Hendra, 2012), biopelet kayu sengon 3.556,03 - 3.726,08 kal/g (Hendra, 2012), dan *wood pellet* limbah kayu karet 4.029 - 4.106 kal/g (Adrian, Sulaeman, & Oktorini, 2015).

Emisi gas yang dihasilkan selama proses pembakaran biopelet dapat diketahui melalui pengujian kadar sulfur, nitrogen, dan klorin. Selama proses pembakaran, kandungan sulfur dapat menghasilkan emisi gas SO<sub>x</sub> yang menyebabkan iritasi saluran pernapasan, kandungan nitrogen dapat menghasilkan emisi gas NO<sub>x</sub>, dan kandungan klorin dapat membentuk asam klorida yang menyebabkan korosi (Sa'adah, 2014). Kadar sulfur dan nitrogen yang dihasilkan secara berturut-turut berkisar antara 0,05-0,09% dan 0,13-0,23%, sedangkan kadar klorin pada semua biopelet yang dihasilkan nilainya kurang dari 0,10 ppm. Secara keseluruhan, nilai emisi pada biopelet telah memenuhi standar Eropa, yaitu sulfur maksimal 0,04%, nitrogen maksimal 1%, dan klorin maksimal 0,03%, sedangkan standar Indonesia belum mempersyaratkan parameter pengujian tersebut. Kandungan sulfur, nitrogen, dan klorin dalam biopelet yang dihasilkan tergolong rendah (baik), hal ini dikarenakan dalam proses pembuatan biopelet tidak menggunakan bahan perekat tambahan. Menurut Sa'adah (2014), biomassa secara alami biasanya mengandung sulfur, nitrogen, dan klorin dengan kadar sangat rendah, kadar yang lebih tinggi disebabkan oleh adanya

penambahan zat aditif seperti perekat. Kandungan sulfur, nitrogen, dan klorin pada biopelet yang dihasilkan lebih baik dibandingkan biopelet limbah sawit dengan kandungan rata-rata sulfur, nitrogen, dan klorin secara berturut-turut 0.012% - 0.038% ; 0.29% - 1.965% dan < 0.010 %.

### 3.4 Formula Biopelet Terbaik

Formula biopelet terbaik dipilih dengan metode *scoring* (Lamanda, Setyawati, Nurhaida, Diba, & Roslinda, 2015), yaitu dengan memberikan penilaian terhadap hasil analisis kualitas biopelet dari yang terendah sampai terbaik dengan skor 1-5, kemudian hasil penilaian direkapitulasi dan dipilih total nilai tertinggi sebagai formula biopelet terbaik. Analisis dimensi (panjang dan diameter) tidak diikutkan dalam penilaian, sebab dimensi seluruh formulasi biopelet telah memenuhi persyaratan sehingga tidak mempengaruhi kualitasnya. Hasil rekapitulasi penilaian kualitas biopelet ditampilkan pada Tabel 4.

Berdasarkan hasil rekapitulasi penilaian terhadap seluruh parameter uji pada setiap biopelet, formulasi yang memiliki total nilai terbaik diperoleh pada biopelet D, yaitu dari campuran 85% CBK dan 15% bambu ater. Hasil penelitian secara keseluruhan menunjukkan penambahan bambu ater mampu meningkatkan kekuatan (*mechanical durability*) dari biopelet. Hal tersebut menunjukkan penambahan bambu ater dapat dimanfaatkan sebagai perekat alami dalam pengolahan biopelet dengan bahan utama CBK dan tidak menyebabkan menurunnya kualitas biopelet yang dihasilkan.

## IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Pengolahan biopelet dari cangkang buah karet (CBK) dan bambu ater (*Gigantochloa atter*) menghasilkan biopelet dengan kualitas terbaik pada formulasi 85% CBK dan 15% bambu ater dan kualitasnya telah memenuhi standar Indonesia (SNI 8021: 2014), sedangkan untuk standar Eropa (EN 14961-2) masih terdapat satu parameter yang belum memenuhi yaitu *mechanical durability*. Penambahan bambu ater menghasilkan

perubahan yang signifikan terhadap kualitas kadar air, abu, bulk density, kalori, dan *mechanical durability* biopelet. Penambahan bambu ater mampu memperbaiki *durability* biopelet hingga mencapai nilai 91.94%.

Diperlukan penelitian lanjutan untuk meningkatkan kembali nilai *durability* biopelet dari campuran CBK dan bambu ater hingga dapat memenuhi standar EN 14961-2 yaitu 96,50%. Penelitian lanjutan disarankan mengenai pengaruh kadar air dan suhu proses dalam meningkatkan *mechanical durability* biopelet yang dihasilkan.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Balai Riset dan Standarisasi Industri Banjarbaru yang telah membantu mendanai penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Ibu Ratri Yuli Lestari dan Bapak Anhar Firdaus yang telah memberi masukan dan membantu dalam pelaksanaan penelitian ini.

### DAFTAR PUSTAKA

Adrian, A., Sulaeman, R., & Oktorini, Y. (2015). Karakteristik Wood Pellet dari Limbah Kayu Karet (*Hevea brazilliensis* Muell. Arg) sebagai Alternatif Sumber Energi Terbarukan. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Pertanian*, 2(2), 1-6.

Anita, S. H., Yanto, D. H. Y., & Fatriasari, W. (2011). Pemanfaatan Lignin Hasil Isolasi dari Lindi Hitam Proses Biopulping Bambu Betung (*Dendrocalamus asper*) sebagai Media Selektif Jamur Pelapuk Putih. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 29(4), 312-321.

Bahtiar, E. T., Nugroho, N., Surjokusumo, S., Karlinsari, L., Nawawi, D. S., & Lestari, D. P. (2016). Pengaruh Komponen Kimia dan Ikatan Pembuluh terhadap Kekuatan Tarik Bambu. *Jurnal Teknik Sipil*, 23(1), 31-40.

Bantacut, T., Hendra, D., & Nuwigha, R. (2013). The Quality of Biopellet from Combination of Palm Shell Charcoal and Palm Fiber. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 23(1), 1-12.

EN 14961-2. (2013). *Handbook for The Certification of Wood Pellets for Purposes* (Version 2). Brussels, Belgium: European Pellet Council (EPC).

Fordiie, E. O. (2011). *Durability of Wood Pellets*. University of British Columbia.

Gilang, R., Affandi, D. R., & Ishartani, D. (2013). Karakteristik Fisik dan Kimia Tepung Koro Pedang (*Canavalia ensiformis*) dengan Variasi Perlakuan Pendahuluan. *Jurnal Teknosains Pangan*, 2(3), 34-42.

Ginting, M., & Rahayu, S. (2012). *Pengolahan dan Analisis Data (Bidang IPA/IPT)*. (E. Sudarmonowati, I. S. Zahroh, Anisah, & Y. Pradanatama, Eds.) (Edisi Revisi). Bogor: Pusbindiklat Peneliti LIPI.

Hansen, M., Jein, A., Hayes, S., & Bateman, P. (2009). *English Handbook for Wood Pellet Combustion*. Germany: National Energy Foundation.

Hendra, D. (2012). Rekayasa Pembuatan Mesin Pelet Kayu dan Pengujian Hasilnya. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 30(2), 144-154.

Kaliyan, N., & Morey, R. V. (2009). Factors Affecting Strength and Durability of Densified Biomass Products. *Journal Biomass and Bioenergy*, 33(3), 337-359.  
<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2008.08.005>

Kementan. (2015). *Statistik Perkebunan Indonesia 2014-2016*. (E. Subiyantoro & Y. Arianto, Eds.). Jakarta: Direktorat Jenderal Perkebunan.

Lamanda, D. D., Setyawati, D., Nurhaida, Diba, F., & Roslinda, E. (2015). Karakteristik Biopelet Berdasarkan Komposisi Serbuk Batang Kelapa Sawit dan Arang Kayu Laban dengan

- Jenis Perekat sebagai Bahan Bakar Alternatif Terbarukan. *Jurnal Hutan Lestari*, 3(2), 313–321.
- Liu, Z., Fei, B., Jiang, Z., Cai, Z., & Liu, X. (2014). Important Properties of Bamboo Pellets to Be Used as Commercial Solid Fuel in China. *Journal Wood Science and Technology*, 48(5), 903–917. <https://doi.org/10.1007/s00226-014-0648-x>
- Liu, Z., Jiang, Z., Cai, Z., Fei, B., YU, Y., & Liu, X. (2012). The Manufacturing Process of Bamboo Pellets. In *Proceedings of the 55th International Convention of Wood Science and Technology* (pp. 1–14). Beijing: China.
- Mani, S., Tabil, L. G., & Sokhansanj, S. (2006). Effects of Compressive Force, Particle Size and Moisture Content on Mechanical Properties of Biomass Pellets from Grasses. *Journal Biomass and Bioenergy*, 30(7), 648–654. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2005.01.004>
- Nasir, A. (2015). *Karakteristik Wood Pellet Campuran Cangkang Sawit dan Kayu Bakau (Rhizophora spp.) (Skripsi)*. Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia.
- Pasangulapati, V., Ramachandriya, K. D., Kumar, A., Wilkins, M. R., Jones, C. L., & Huhnke, R. L. (2012). Bioresource Technology Effects of Cellulose, Hemicellulose and Lignin on Thermochemical Conversion Characteristics of The Selected Biomass. *Journal Bioresource Technology*, 114, 663–669. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.03.036>
- Prasetyowati, Hermanto, M., & Farizy. (2014). Pembuatan Asap Cair dari Cangkang Buah Karet sebagai Koagulan Lateks. *Journal Teknik Kimia*, 4(20), 14–21.
- Rahman. (2011). *Uji Keragaan Biopellet dari Biomassa Limbah Sekam Padi (Oryza sativa sp.) sebagai Bahan Bakar Alternatif Terbarukan (Skripsi)*. Institut Pertanian Bogor, Indonesia.
- Sa'adah, W. A. (2014). *Pemanfaatan Limbah Kelapa Sawit (Elaeis Guineensis Jacq.) dan Serbuk Kayu Mahoni sebagai Bahan Baku Biopellet (Skripsi)*. Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia.
- Saptoadi, H. (2008). The Best Biobriquette Dimension and Its Particle Size. *Asian Journal on Energy and Environment*, 9(3), 161–175.
- Sjaifudin, A., & Sugiyana, D. (2016). Sintesis dan Peningkatan Performa Bahan Bakar Briket dari Limbah Abu Dasar Batubara dan Limbah Sabut Kelapa di Industri Tekstil. *Jurnal Arena Tekstil*, 31(1), 43–50.
- SNI 8021:2014. (2014). *Pelet Kayu*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Sukarta, I. N., & Oka, L. (2017). Analisis Proksimat pada Pelet Bahan Bakar dari Kotoran Babi yang Dikombinasikan dengan Limbah Kayu. *Jurnal Sains Dan Teknologi*, 6(2), 220–227.
- Suparno, O., & Danieli, R. (2017). Penghilangan Hemiselulosa Serat Bambu secara Enzimatis untuk Pembuatan Serat Bambu. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 27(1), 89–95.
- Susila, M. A. D., Medhina, M., Adilla, I., Sihombing, A. L. S. M., & Lestari, E. (2011). Pengaruh Konsentrasi Ion Bikarbonat Larutan Penjerab terhadap Efisiensi Penjerab Sistem Bio-FGD PLTU Batubara. *Jurnal Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan*, 10(2), 87–94.
- Van der Stelt, M. J. C., Gerhauser, H., Kiel, J. H. A., & Ptasinski, K. J. (2011). Biomass Upgrading by Torrefaction for The Production of Biofuels: A review. *Journal Biomass and Bioenergy*, 35(9), 3748–3762. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.06.023>

- Wang, C., Wang, F., Yang, Q., & Liang, R. (2009). Thermogravimetric Studies of The Behavior of Wheat Straw with Added Coal During Combustion. *Journal Biomass and Bioenergy*, 33, 50–56.  
<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2008.04.013>
- Widyawati, N. L., & Argo, B. D. (2014). Pemanfaatan Microwave dalam Proses *Pretreatment* Degradasi Lignin Ampas Tebu (*Bagasse*) pada Produksi Bioetanol. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 15(1), 1–6.
- Winata, A. (2013). *Karakteristik Biopelet dari Campuran Serbuk Kayu Sengon dengan Arang Sekam Padi sebagai Bahan Bakar Alternatif Terbarukan (Skripsi)*. Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia.
- Xu, K., Tu, D., Chen, T., Zhong, T., & Lu, J. (2016). Effects of Environmental-Friendly Modified Rubber Seed Shell on The Comprehensive Properties of High Density Polyethylene/Rubber Seed Shell Composites. *Journal Industrial Crops and Products*, 91, 132–141. <http://dx.doi.org/1>
- Yuliza, N., Nazir, N., & Djalal, M. (2013). Pengaruh Komposisi Arang Sekam Padi dan Arang Kulit Biji Jarak Pagar terhadap Mutu Briket Arang. *Jurnal Litbang Industri*, 3(1), 21–30.
- Zulfian, Diba, F., Setyawati, D., Nurhaida, & Roslinda, E. (2015). Kualitas Biopelet dari Limbah Batang Kelapa Sawit pada Berbagai Ukuran Serbuk dan Jenis Perekat. *Jurnal Hutan Lestari*, 3(2), 208–216.