

KARAKTERISTIK BIOPELET DARI LIMBAH PADAT KAYU PUTIH DAN GONDORUKEM (*Characteristic of Biopellet Made of Solid Waste of Cajuput and Pine Resin*)

Sofia Mustamu¹, Hermawan¹, & Gustan Pari²

¹Jurusan Kimia, Fakultas MIPA Institut Pertanian Bogor

Jl. Tanjung Kampus IPB Dramaga, Bogor, 16680, Telp/Fax. (0251) 8624567,

²Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan

Jl. Gunung Batu No. 5 Bogor 16610, Telp. (0251) 8633378; Fax. (0251) 86333413

E-mail : sofiamustamu@yahoo.co.id

Diterima 18 Agustus 2017, direvisi 28 Juni 2018, disetujui 19 September 2018

ABSTRACT

Biopellet is a solid fuel made of forging a cylindrical biomass and it could be used as an alternative energy. Cajuput and pine resin wastes are two potential material for biopellet. Biomass fuel in the form of biopellet provide better heat quality than direct biomass combustion. This paper studies the particle size and process temperature in producing optimum and environmentally friendly biopellet. Raw materials of cajuput and pine resin wastes were mixed, powdered and sieved into 20, 40, 60 and 80 mesh. Thirty grams of each powder was molded with the composition of 70% cajuput solid waste and 30% of pine resin. Biopellet was compressed using compression hydraulic press machine of 526.48 kg/cm² with a temperature of 120, 150, 180, 200, 230 and 260°C. The results showed that the biopellet made of 40 mesh mixed powder and temperature process of 230°C produced the optimum quality of biopellets. The physical properties of the biopellet made of 40 mesh powder and 230°C processing temperature were: 1.905% moisture content; 3.955% ash content; 72.189% volatile matter; 21.949% fixed carbon; 5,097.5 kcal/kg calorific value and compression strength of 53.746 kgf/cm².

Keywords: Biopellet, waste, cajuput, pine resin, calorific value

ABSTRAK

Biopellet adalah bahan bakar padat yang dihasilkan dari pengempaan biomassa menjadi sumber energi bakar alternatif. Limbah padatan kayu putih dan gondorukem berpotensi untuk biopellet. Kualitas pembakaran biopellet lebih baik dari pembakaran biomassa secara langsung. Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari ukuran serbuk dan suhu pengempaan yang optimal untuk menghasilkan biopellet berkualitas terbaik dan ramah lingkungan. Limbah padat kayu putih dan gondorukem dicampur dan dijadikan serbuk, dengan ukuran penyaringan 20 mesh, 40 mesh, 60 mesh, dan 80 mesh. Dari masing-masing ukuran serbuk dilakukan pencampuran sebanyak 30 g untuk dicetak dengan perbandingan 70% limbah padat kayu putih dan 30% gondorukem. Pencetakan biopellet dilakukan dengan menggunakan mesin kempa hidrolik bertekanan 526,48 kg/cm² dengan suhu pencetakan yang diinginkan antara lain 120, 150, 180, 200, 230, dan 260°C. Hasil penelitian menunjukkan biopellet yang dibuat dari serbuk berukuran 40 mesh dan suhu pengempaan 230°C menghasilkan biopellet dengan kualitas terbaik. Sifat fisik biopellet yang dihasilkan dari ukuran serbuk 40 mesh dan suhu pencetakan 230°C yaitu kadar air 1,905% ; kadar abu 3,955%; kandungan zat terbang 72,189%; kadar karbon terikat 21,949%; nilai kalor 5097,5 kkal/kg; dan keteguhan tekan 53,746 kgf/cm².

Kata kunci: Biopellet, limbah, kayu putih, gondorukem, nilai kalor

I. PENDAHULUAN

Pertumbuhan jumlah penduduk dan peningkatan pertumbuhan ekonomi di Indonesia mengakibatkan kebutuhan energi dari tahun ke tahun semakin meningkat. Peningkatan penggunaan energi dari bahan baku yang berasal dari fosil ini menyebabkan peningkatan emisi gas rumah kaca. Menurut Yilmaz dan Selim (2013) produksi karbon dioksida (CO_2) di dunia saat ini telah meningkat dari 4 juta ton/tahun menjadi 28 juta ton/tahun, sehingga perlu penyediaan sumber energi pengganti yang ramah lingkungan dengan jumlah yang melimpah dengan harga yang terjangkau. Biomassa merupakan bahan bakar yang bersifat ramah lingkungan yang dapat digunakan sebagai pengganti bahan bakar fosil dan mengurangi terjadinya pemanasan global, serta memiliki biaya produksi yang rendah (Qian et al, 2011; Chou et al, 2009). Menurut Shen et al. (2009) biomassa merupakan sumber energi primer keempat terbesar yang banyak tersedia pada beberapa negara berkembang.

Biomassa merupakan bahan bakar yang diperoleh dari tanaman dan limbah pertanian, limbah kayu, limbah hewan, limbah industri serta limbah pemukiman, dan energinya dihasilkan dari senyawa karbon yang berasal dari proses fotosintesis secara panas maupun kimia (Bergman & Zerbe, 2008; Bridgwater, 2012). Kelebihan penggunaan biomassa sebagai sumber energi lainnya menurut Setiawan (2007) yaitu dapat mengurangi karbon dioksida di atmosfer karena gas hasil pembakaran lebih sedikit, sehingga dapat diserap kembali oleh tumbuhan (bersifat karbon netral). Biomassa juga memiliki kelemahan yaitu memiliki nilai kalor yang rendah dan kadar air yang tinggi. Untuk mengatasi kelemahan dari biomassa tersebut, maka energi biomassa dapat dibuat dalam bentuk pelet. Peletisasi merupakan salah satu teknologi yang dilakukan secara mekanis untuk meningkatkan kepadatan biomassa menjadi biopelet (Nilsson et al., 2010).

Biopelet adalah bahan bakar padat hasil pengempaan biomassa yang berbentuk silinder dan memiliki panjang 6–25 mm dengan diameter 12 mm dan dapat digunakan sebagai energi alternatif (Rusdianto et al., 2014). Produksi dan permintaan pelet dari tahun ke tahun selalu meningkat dari 16 juta menjadi 46 juta metrik

ton/tahun (Taylor et al., 2013). Penelitian terkait biopelet sebelumnya berfokus pada bahan baku dan juga proses pencetakan, sedangkan formulasi pencampuran biomassa untuk biopelet belum dipelajari secara intensif.

Beberapa jenis biomassa yang dapat digunakan untuk biopelet adalah limbah padat kayu putih dan gondorukem. Limbah padat kayu putih dan gondorukem dapat diperoleh dari pabrik pengolahan kayu putih dan gondorukem. Saat ini, pabrik pengolahan kayu putih menghasilkan limbah padat yang cukup berlimpah. Menurut Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (2017), produksi kayu putih di Jawa Barat pada tahun 2016 sebesar 8.347 ton/tahun. Apabila rendemen pengolahan kayu putih sebesar 0,76 %, maka akan menghasilkan limbah sebesar 6.343 ton/tahun. Pemanfaatan limbah padat kayu putih oleh Perum Perhutani hanya sebesar 30% untuk dijadikan briket sebagai bahan bakar boiler dan sisanya dijadikan kayu bakar oleh masyarakat. Namun itu tidak memberikan pengaruh signifikan dalam mengurangi tumpukan limbah yang setiap harinya terus bertambah (Kartikasari 2007). Sama halnya dengan pabrik kayu putih, pabrik pengolahan gondorukem menghasilkan limbah sebesar 5% dari kapasitas produksi gondorukem. Perum Perhutani dengan kapasitas 66.572 ton/tahun akan menghasilkan limbah pengolahan gondorukem sekitar 5% atau sebesar 3.328 ton/tahun (Sukmananto, 2014). Biomassa limbah padatan kayu putih dan gondorukem berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai energi alternatif untuk masyarakat yang ramah terhadap lingkungan. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan ukuran serbuk dan suhu yang tepat untuk menghasilkan biopelet yang ramah lingkungan dengan kualitas yang baik.

II. BAHAN DAN METODE

A. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan pada bulan Juni 2016 sampai Februari 2017 di Laboratorium Biokomposit dan Kimia Hasil Hutan Departemen Hasil Hutan IPB, Laboratorium Kimia Terpadu Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan Bogor, dan Laboratorium Kimia Analitik Balai Penelitian Ternak, Ciawi.

B. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan limbah padat pengolahan minyak kayu putih berupa ranting, dan limbah padat gondorukem berupa serpihan yang mengkilat tercampur serasah daun pinus yang diambil dari Perum Perhutani Unit III, Jawa Barat. Alat yang digunakan dalam penelitian ini berupa *disc flaker*, *willey mill*, saringan dengan ukuran 20, 40, 60, dan 80 mesh, timbangan analitik, *pellet mill*, oven, desikator, tanur, cawan porselen, *stopwatch*, kamera, kertas label, kuas, plastik, dan alat tulis.

C. Metode Penelitian

Penelitian ini terdiri dari dua tahap yaitu penelitian pendahuluan dan penelitian utama. Selama masa penelitian pendahuluan, dilakukan penentuan perbandingan limbah yang tepat antara limbah padat kayu putih dan limbah padat gondorukem. Penelitian utama terdiri dari beberapa tahapan yaitu persiapan bahan baku, pengayakan, pencampuran serbuk, pencetakan biopelet, dan pengujian biopelet.

Persiapan bahan baku yang dilakukan meliputi pengadaan bahan baku dan pembuatan serbuk. Limbah padat kayu putih dan gondorukem digiling menggunakan *disc flaker*, dan diperhalus lagi menggunakan *willey mill* untuk menghasilkan serbuk. Serbuk yang diperoleh dari hasil penggilingan kemudian diayak menggunakan saringan dengan ukuran yang diinginkan yaitu serbuk dengan ukuran 20, 40, 60, dan 80 mesh. Serbuk yang telah diperoleh dari tiap-tiap ukuran kemudian ditimbang dan dicampur sebanyak 30 gr (berat kering udara) dengan persentase 70% limbah padat kayu putih dan 30% limbah gondorukem atau sebesar 21 gr (berat kering udara) limbah padat kayu putih dan 9gr(berat kering udara) limbah gondorukem (perbandingan ini ditetapkan berdasarkan hasil penelitian pendahuluan yang telah dilakukan). Pencetakan biopelet dilakukan dengan menggunakan mesin kempa hidrolis bertekanan 526,48 kg/cm² dengan menggunakan suhu pencetakan yang diinginkan antara lain 120, 150, 180, 200, 230, dan 260°C selama 15 menit. Cetakan berbentuk silinder dengan diameter biopelet 11 mm, dan

sekali pencetakan menghasilkan 20 buah biopelet. Setelah dikeluarkan dari mesin cetak, biopelet yang masih dalam keadaan panas kemudian dibiarkan sampai dingin, dan dibiarkan selama ± 30 menit sebelum dilakukan pengujian. Adapun pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Kadar air (SNI 8021-2014)

Penetapan nilai kadar air dilakukan dengan 2 g sampel diletakkan pada cawan porselen yang bobotnya sudah diketahui, kemudian dimasukkan ke dalam oven pada suhu 103±2°C selama 3 jam sampai kadar air konstan. Biopelet kemudian didinginkan dalam desikator sampai kondisi stabil dan seimbang, dan perhitungan kadar air dapat dilakukan dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{\text{BB-BKT}}{\text{BKT}} \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

BB = Berat sebelum dikeringkan dalam oven (g);

BKT = Berat setelah dikeringkan dalam oven (g).

2. Kadar abu (SNI 8021-2014)

Penetapan nilai kadar abu dilakukan dengan 1 gr sampel diletakkan pada cawan porselen yang bobotnya sudah diketahui, kemudian dimasukkan ke dalam oven pada suhu 650°C selama 5 jam. Biopelet kemudian didinginkan dalam desikator sampai kondisi stabil dan seimbang. Perhitungan nilai kadar abu dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kadar abu (\%)} = \frac{\text{Berat Abu}}{\text{Berat sampel kering tanur}} \times 100\% \dots\dots\dots(2)$$

3. Kadar zat terbang (SNI 8021-2014)

Penetapan nilai zat terbang dilakukan dengan cara meletakkan 2 gr sampel pada cawan porselen yang bobotnya sudah diketahui, kemudian dimasukkan ke dalam oven pada suhu 950°C selama 10 menit. Biopelet kemudian didinginkan dalam desikator sampai kondisi stabil dan seimbang. Perhitungan nilai kadar zat terbang dapat dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kadar zat terbang (\%)} = \frac{B-C}{W} \times 100\% \dots\dots(3)$$

Keterangan (*Remarks*):

B = Berat sampel setelah dikeringkan dari uji kadar air (g);

C = Berat sampel setelah dipanaskan dalam tanur (g);

W = Berat sampel awal sebelum pengujian kadar air (g).

4. Kadar karbon terikat (SNI 8021-2014)

Kadar karbon terikat merupakan kadar fraksi karbon yang terikat dalam bahan dan tidak termasuk fraksi air, zat mudah menguap, dan abu. Perhitungan nilai kadar karbon terikat dapat dilakukan sebagai berikut:

$$\text{KKT (\%)} = 100 - (\text{Kadar air} + \text{kadar zat terbang} + \text{kadar abu}) \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan:

KKT = Kadar Karbon Terikat

5. Keteguhan tekan

Keteguhan tekan merupakan kekuatan yang dihasilkan suatu pelet untuk menahan beban yang diterima sampai pelet pecah. Pengujian dilakukan dengan menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM) dan dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$P \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = \frac{M_b}{A} \times 100\% \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan:

P = Keteguhan tekan pelet (kgf/cm²);

M_b = Beban yang diterima pelet hingga pecah (kgf);

A = Luas permukaan pelet (cm²).

6. Nilai kalor (SNI 8021-2014)

Nilai kalor adalah jumlah panas yang dihasilkan oleh pembakaran lengkap dari sebuah jumlah unit bakar. Penetapan nilai kalor dapat dilakukan dengan contoh uji sebanyak 2 g diletakkan dalam cawan silika dan diikat dengan kawat nikel kemudian dimasukkan ke dalam tabung dan ditutup rapat. Pada tabung tersebut dialiri oksigen selama 30 detik dan tabung akan dimasukkan ke dalam *Oxygen Bomb Calorimeter*. Pembakaran akan dimulai saat suhu air sudah tetap. Pengujian nilai kalor ini dilakukan di Laboratorium Balai Penelitian Ternak, Ciawi, Jawa Barat. Besarnya nilai kalor suatu bahan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Nilai Kalor (kkal/kg)} = \frac{\Delta t \times W}{m_{bb}} - B \dots\dots\dots(6)$$

Keterangan (*Remarks*):

Δt = Perbedaan suhu rata-rata (°C);

W = Nilai air kalorimeter (kal/°C);

m_{bb} = Massa bahan bakar (g);

B = Koreksi panas pada kawat besi (kal/g).

D. Rancangan Penelitian

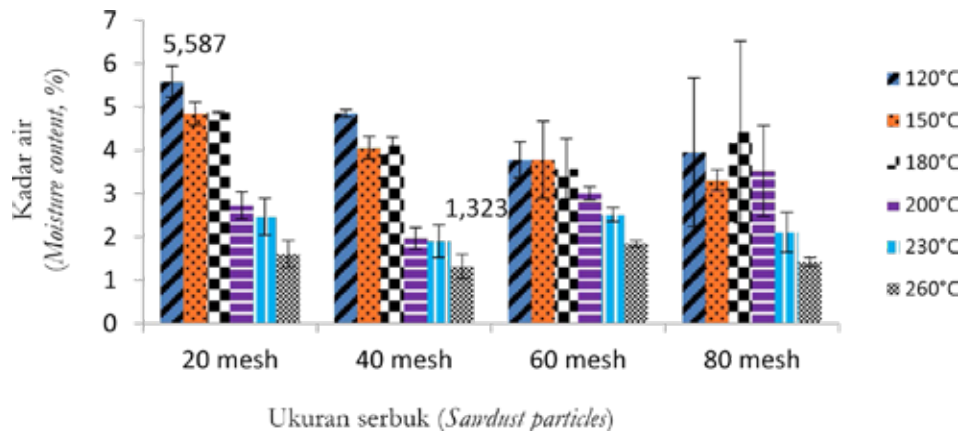
Rancangan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Rancangan Acak Lengkap dengan dua faktor (RAL Faktorial), faktor pertama adalah ukuran serbuk yang terdiri dari 4 taraf (20, 40, 60, dan 80 mesh) dan faktor kedua adalah suhu pencetakan yang terdiri dari 6 taraf (120, 150, 180, 200, 230, dan 260°C) dan dilakukan pengulangan sebanyak 2 kali. Jika pengujian secara statistik menunjukkan adanya pengaruh yang nyata, maka akan dilakukan uji lanjutan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Kadar Air

Kadar air merupakan parameter yang penting dalam menentukan kualitas suatu biopelet, karena menentukan daya tahan dan kerapatan biopelet (Samuelsson et al., 2012; Lamers et al., 2012). Nilai kadar air biopelet pada penelitian ini berkisar antara 1,323–5,587%, dimana kadar air tertinggi terdapat pada biopelet 20 mesh suhu 120°C dan terendah terdapat pada biopelet 40 mesh suhu 260°C. Nilai kadar air ini memenuhi standar SNI 802–2014 yang mensyaratkan nilai kadar air biopelet maksimum 12%. Perbandingan hasil perhitungan kadar air biopelet disajikan pada grafik di Gambar 1.

Analisis keragaman menunjukkan bahwa ukuran serbuk tidak memberikan pengaruh terhadap nilai kadar air biopelet (Lampiran 1). Hasil penelitian ini bertentangan dengan penelitian Zulfian et al. (2015) yang menyatakan bahwa nilai kadar air cenderung menurun dengan semakin halusnya ukuran serbuk. Suhu densifikasi memberikan pengaruh terhadap nilai kadar air, hasil ini sesuai dengan penelitian Hendra (2012) yang menyatakan bahwa rendahnya kadar air pada biopelet dapat disebabkan oleh adanya



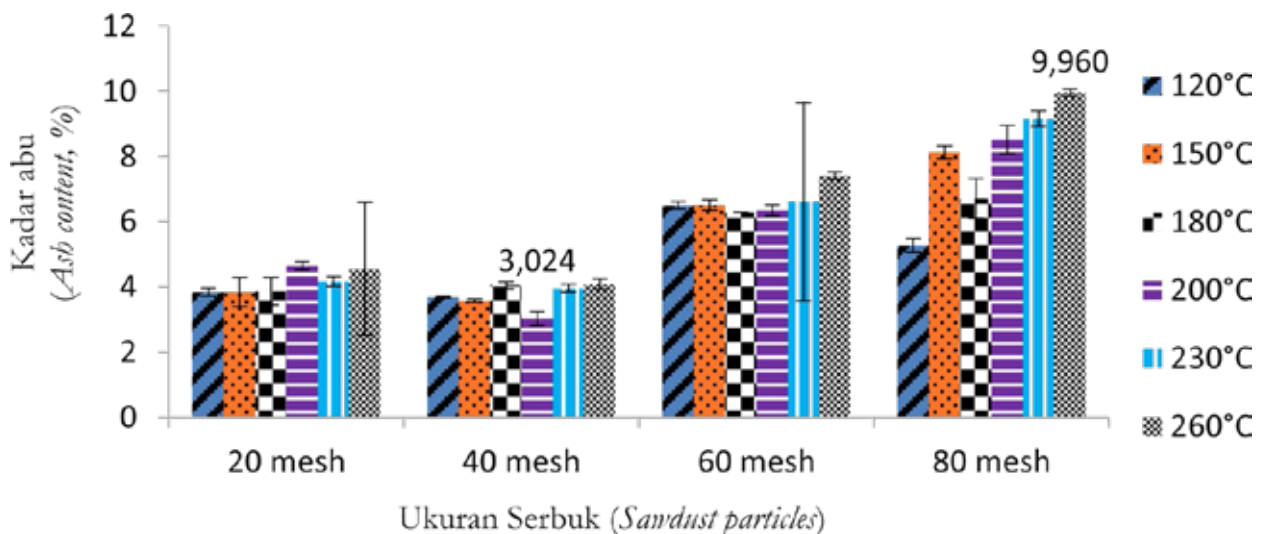
Gambar 1. Kadar air biopellet
Figure 1. Biopellet moisture content

proses pemanasan pada saat pengempaan yang secara tidak langsung akan menguapkan air yang terkandung pada serbuk yang dikempa. Penambahan tekanan yang tinggi saat pencetakan akan menyebabkan biopellet semakin padat, kerapatan tinggi, sehingga partikel biomassa dapat saling mengisi ruang kosong serta menurunkan molekul air (Rahman, 2011 dalam Wibowo et al., 2016). Kadar air yang tinggi pada bahan bakar biopellet akan menyebabkan proses pembakaran lambat dan menimbulkan banyak asap dan temperatur api yang rendah pada waktu pembakaran, menyebabkan efisiensi pembakaran rendah, polusi udara, dan proses penyalaan menjadi sulit (Hansen et al., 2009; Nurwigha, 2012; Hendra, 2012).

B. Kadar Abu

Hasil penelitian menunjukkan nilai kadar abu berkisar antara 3,024–9,96%, dimana kadar abu tertinggi tercatat pada biopellet dari serbuk berukuran 80 mesh dan suhu 260°C, sedangkan kadar abu terendah tercatat pada biopellet ukuran serbuk 40 mesh suhu 200°C. Nilai kadar abu yang dihasilkan tidak sesuai dengan SNI 8021:2014 yang mensyaratkan maksimal 1,5%. Nilai kadar abu biopellet disajikan pada Gambar 2.

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa ukuran serbuk dan suhu berpengaruh nyata pada taraf α 5% terhadap kadar abu biopellet (Lampiran 2). Semakin halus ukuran serbuk maka semakin tinggi kadar abu biopellet, begitu pula



Gambar 2. Kadar abu biopellet
Figure 2. Biopellet ash content

semakin tinggi suhu pengempaan maka semakin tinggi kadar abu biopelet. Menurut Kalyan dan Morey (2009) dan Carone et al. (2011) bahwa ukuran serbuk yang halus bila dikempa dengan suhu yang tinggi akan memudahkan penyerapan panas dan kelembapan. Muharyani et al. (2012) juga menyatakan kadar abu meningkat seiring dengan peningkatan suhu karbonisasi.

Kadar abu yang tinggi akan menyebabkan panas yang dihasilkan menurun karena adanya penumpukan abu pada saat pembakaran berlangsung, sehingga dapat memberi dampak negatif pada pelet, dan juga dapat mengakibatkan kerak pada boiler yang menyebabkan mudah korosi (Lehtikangas 2001; Poddar et al., 2014), sebaliknya, semakin rendah kadar abu maka biopelet yang dihasilkan semakin baik (Prasetyo 2004).

C. Kadar Zat Terbang

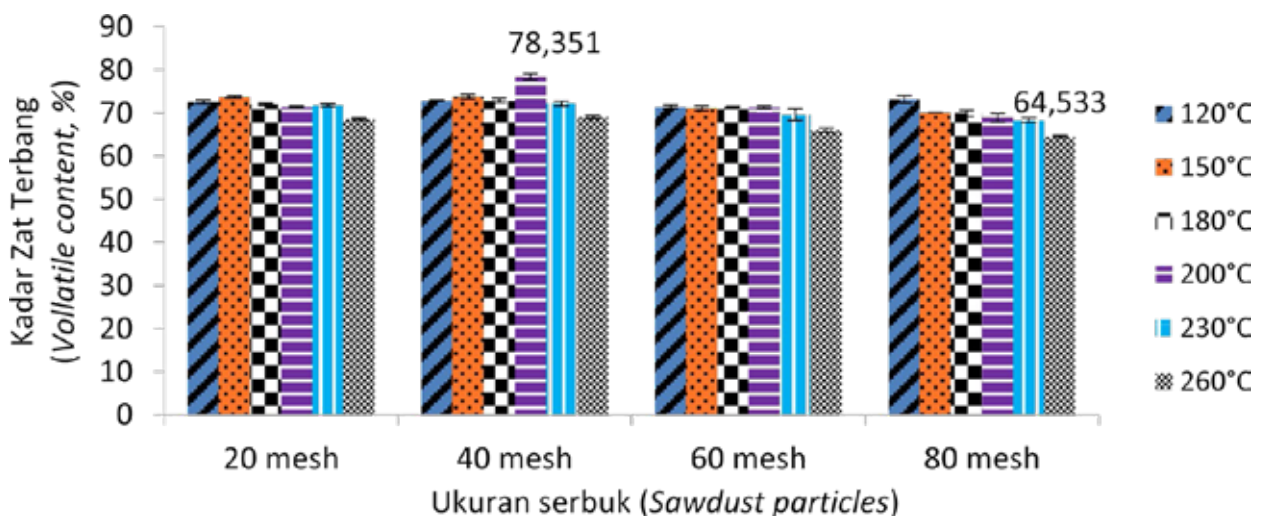
Kadar zat terbang adalah persentase berat yang hilang bila biopelet dipanaskan tanpa udara luar serta dikoreksi dari jumlah air per contoh (SNI 8021, 2014). Hasil penelitian menunjukkan nilai kadar zat terbang berkisar antara 64,533–78,351%, dimana kadar zat terbang tertinggi pada biopelet ukuran serbuk 40 mesh suhu 200°C, sedangkan nilai kadar zat terbang terendah pada biopelet ukuran serbuk 80 mesh suhu 260°C. Nilai kadar zat terbang ini memenuhi standar SNI 8021 (2014) yang mensyaratkan nilai kadar zat terbang maksimal 80%. Faktor yang

mempengaruhi tingginya nilai kadar zat terbang yaitu tidak dilakukannya karbonisasi pada serbuk yang digunakan. Hal ini sesuai dengan penelitian Liliana (2010) yang menyatakan bahwa karbonisasi sekam padi bertujuan untuk mengurangi kadar zat terbang penyebab asap dan meningkatkan nilai kalor pembakaran.

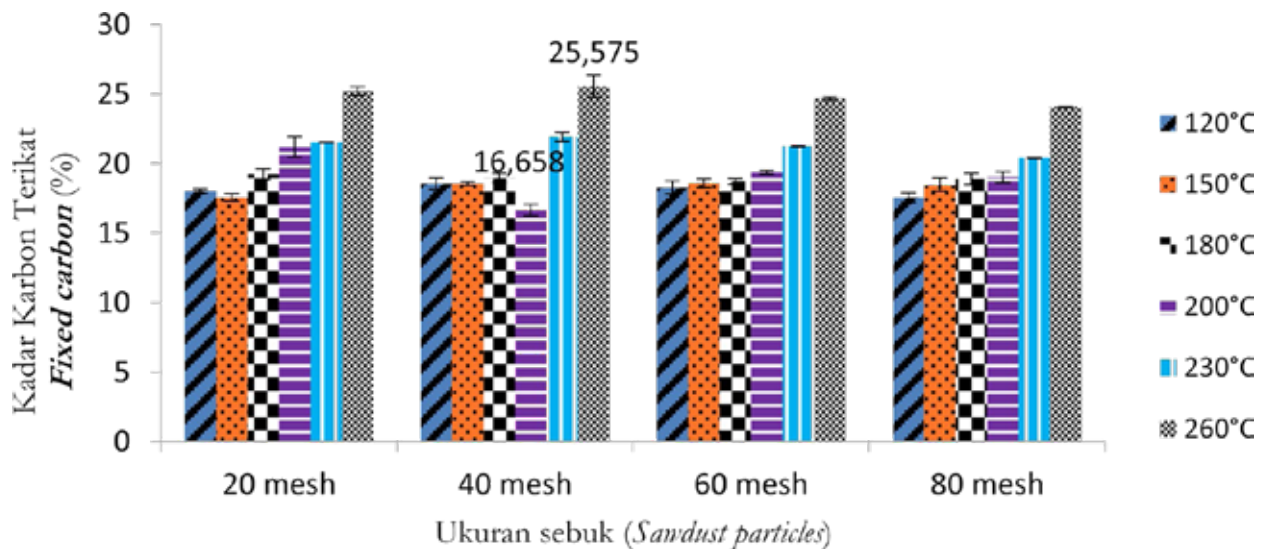
Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa ukuran partikel dan suhu memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai zat terbang biopelet (Lampiran 3). Hasil penelitian ini bertentangan dengan penelitian Hendra (2012) yang menyatakan bahwa perlakuan pemanasan dan besarnya partikel tidak banyak berpengaruh terhadap nilai kadar zat terbang, karena pembuatan pelet dengan perlakuan pemanasan dan besarnya partikel serbuk kayu memiliki nilai kadar zat terbang relatif sama. Nilai kadar zat terbang biopelet pada beberapa ukuran serbuk disajikan pada Gambar 3.

D. Kadar Karbon Terikat

Kadar karbon terikat didefinisikan sebagai fraksi karbon dalam biomassa selain fraksi air, zat terbang, dan abu. Kadar karbon terikat dipengaruhi oleh unsur penyusunnya seperti karbon, hidrogen, dan oksigen (Basu, 2010). Kadar karbon terikat sebagai parameter kualitas bahan bakar karena mempengaruhi besarnya nilai kalor. Nilai kadar karbon terikat merupakan penelitian ini berkisar antara 16,658–25,575% dimana karbon terikat tertinggi terdapat pada



Gambar 3. Kadar zat terbang biopelet
 Figure 3. Biopellet volatile matter

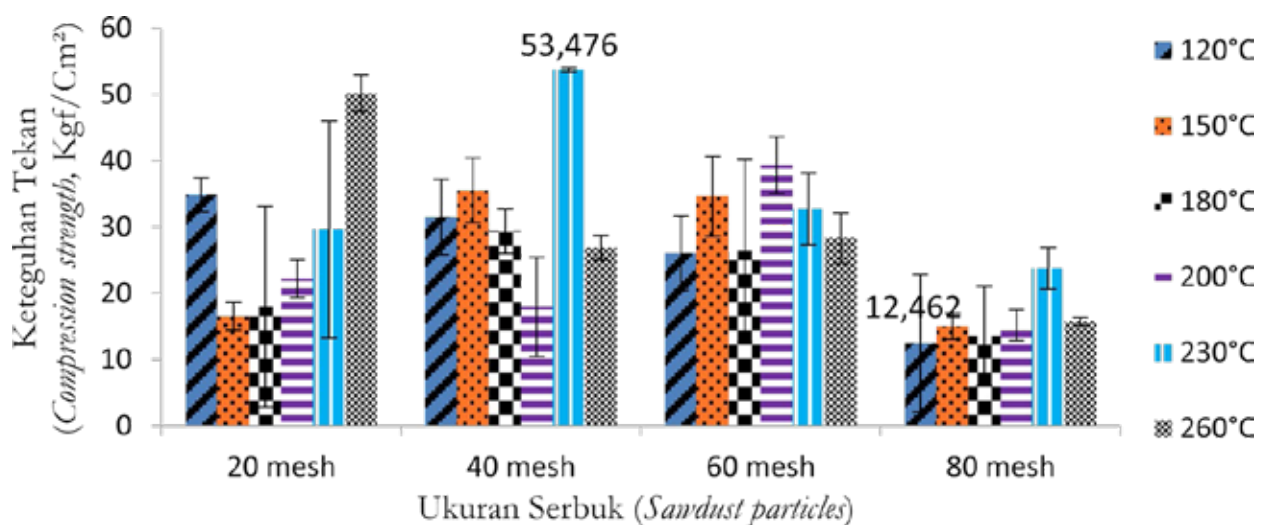


Gambar 4. Kadar karbon terikat biopellet
Figure 4. Biopellet fixed carbon

biopellet yang dibentuk dari serbuk berukuran 40 mesh dan suhu 260°C, sedangkan kadar karbon terikat terendah tercatat pada biopellet dengan ukuran serbuk 40 mesh, suhu 200°C. Nilai kadar karbon terikat ini memenuhi standar SNI 8021-2014 yang mensyaratkan nilai kadar karbon terikat biopellet minimal 14%. Nilai kadar karbon terikat biopellet dari berbagai ukuran serbuk dapat dilihat pada Gambar 4.

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa ukuran serbuk dan suhu berpengaruh nyata terhadap nilai kadar karbon terikat biopellet (Lampiran 4). Penelitian ini menunjukkan

biopellet dari serbuk berukuran 40 mesh dengan suhu kempa 260°C memiliki nilai kadar karbon terikat yang tinggi. Hal tersebut dipengaruhi oleh rendahnya nilai kadar abu dan kadar zat terbang. Hal ini sejalan dengan penelitian Hendra dan Darmawan (2000) dan Pari (2004) yang menyatakan bahwa kadar karbon terikat dipengaruhi oleh tinggi rendahnya kadar zat terbang. Selain itu, Onu et al. (2010) dan Saputro et al. (2012) menyatakan bahwa semakin tinggi kadar karbon terikat, semakin tinggi nilai kalornya.



Gambar 5. Keteguhan tekan biopellet
Figure 5. Biopellet compression strength

E. Keteguhan Tekan

Keteguhan tekan merupakan kemampuan suatu bahan yang memiliki daya tahan atau kekuatan untuk menahan tekanan luar sehingga menyebabkan bahan tersebut pecah atau hancur. Nilai keteguhan tekan pada penelitian ini berkisar antara 12,462?53,476 kgf/cm². Nilai keteguhan tekan disajikan pada Gambar 5.

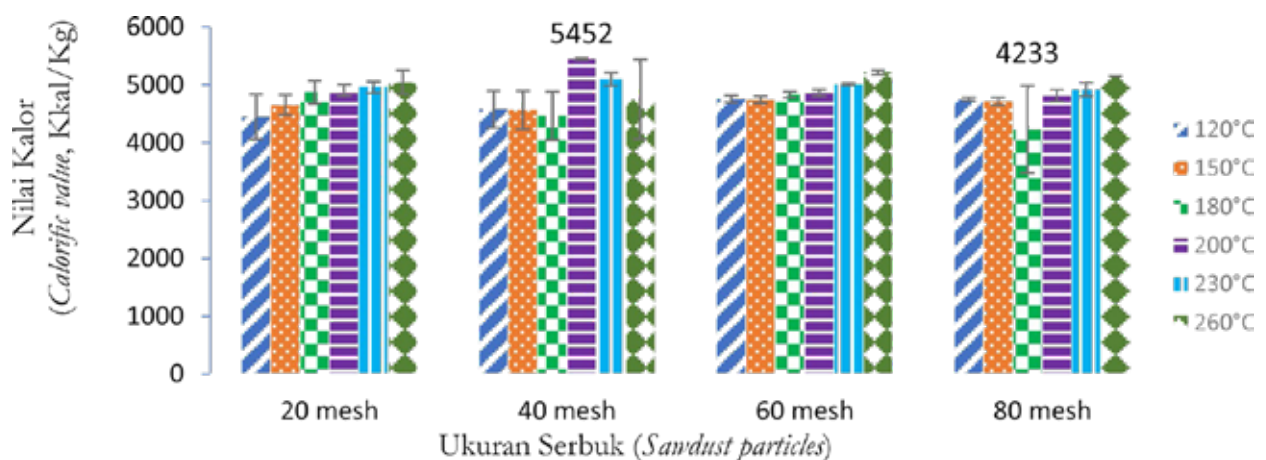
Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa ukuran serbuk dan suhu memberikan pengaruh yang signifikan terhadap keteguhan biopelet (Lampiran 5). Nilai keteguhan tekan tertinggi terdapat pada biopelet ukuran serbuk 40 mesh dengan suhu 230°C, sedangkan nilai keteguhan terendah terdapat pada campuran biopelet dari ukuran serbuk 80 mesh dengan suhu 120°C. Dalam SNI 8021-2014 tidak disyaratkan standar minimum atau maksimum nilai keteguhan tekan dari suatu biopelet, namun semakin besar keteguhan tekan pada biopelet maka akan semakin baik kualitas biopelet yang dihasilkan. Nilai keteguhan tekan tinggi disebabkan karena ukuran serbuk kayu yang cenderung lebih seragam. Permukaan yang seragam akan lebih memudahkan serbuk kayu menempel dan saling berikatan. Hal ini didukung oleh penelitian Hendra (2012) yang menyatakan bahwa semakin halus dan seragam ukuran serbuk yang digunakan, maka keteguhan tekannya akan semakin tinggi. Variasi suhu dan tekanan selama proses pembentukan biopelet akan membantu proses pengikatan dan pengisian ruang yang kosong secara mikro dalam biopelet,

semakin kecil ukuran serbuk kayu, maka nilai keteguhannya akan semakin besar (Hendra & Dermawan, 2002).

F. Nilai Kalor

Nilai kalor merupakan parameter utama mutu biopelet, dan sangat penting dalam menentukan efisiensi suatu bahan bakar (Ali & Restuhadi, 2010). Menurut Basu (2010) nilai kalor dipengaruhi oleh kadar air, kadar zat terbang, kadar abu, dan kadar karbon terikat. Nilai kalor pada penelitian ini berkisar antara 4.233–5.452 kkal/kg. Nilai kalor yang dihasilkan dalam penelitian ini memenuhi SNI 8021-2014 yang mensyaratkan nilai kalor biopelet lebih dari 4.000 kkal/kg. Nilai kalor tertinggi dihasilkan oleh biopelet dengan ukuran serbuk 40 mesh pada suhu 200°C, dan yang terendah dihasilkan oleh biopelet dengan ukuran serbuk 80 mesh pada suhu 180°C. Nilai kalor biopelet pada berbagai ukuran serbuk dapat dilihat pada Gambar 6.

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa ukuran serbuk dan suhu pengempaan memberikan pengaruh yang nyata terhadap nilai kalor (Lampiran 6). Semakin tinggi suhu maka semakin tinggi nilai kalor biopelet yang dihasilkan. Hal ini disebabkan karena tingginya nilai kalor gondorukem yang digunakan sebagai bahan baku pembuatan biopelet. Nilai kalor bahan baku limbah gondorukem pada penelitian ini diperoleh dari hasil pengujian bahan baku pada penelitian pendahuluan yaitu sebesar 5.212 kkal/kg. Nilai kalor biopelet juga dipengaruhi oleh nilai kalor



Gambar 6. Nilai kalor biopelet
Figure 6. Biopellet calorific value

bahan baku biopelet. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Rusdianto (2013) yang menyatakan bahwa semakin tinggi nilai kalor bahan baku akan berakibat semakin tinggi nilai kalor biopelet yang dihasilkan. Dalam penelitian ini nilai kalor berbanding terbalik dengan nilai kadar air, kadar abu, dan kadar zat terbang (Yuniarti et al., 2011; Fang et al., 2013).

IV. KESIMPULAN

Limbah padat pengolahan minyak kayu putih berupa ranting dan limbah gondorukem dapat dimanfaatkan menjadi biopelet. Ukuran serbuk dan suhu pengempaan terbaik yang dapat digunakan untuk mencetak produk biopelet hasil dari limbah padat kayu putih dan gondorukem adalah serbuk dengan ukuran 40 mesh pada suhu 230°C (berdasarkan SNI 8021-2014). Hasil pengujian karakteristik biopelet yang diperoleh yaitu kadar air sebesar 1,905%; kadar abu sebesar 3,955%; kadar zat terbang sebesar 72,189%; kadar karbon terikat sebesar 21,949%; keteguhan tekan 53,746 kgf/cm² dengan nilai kalor sebesar 5097,5 kkal/kg.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, A., & Restuhadi, F. (2010). Optimasi pembuatan biopelet dari bungkil picung (*Pangium edule* Reinw.) dengan penambahan solar dan perekat tapioka. *Sagu*, 9(1), 1-7.
- Basu, P. (2010). *Biomass gasification and pyrolysis, practical design and theory*. US: Academic Press.
- Bergman, R., & Zerbe, J. (2008). Primer on wood biomass for energy. Diakses dari http://www.fpl.fs.fed.us/documents/fpmu/biomass_energy/primer_on_wood_biomass_for_energy.pdf pada tanggal 25 Mei 2016.
- Bridgwater, A. V. (2012). Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading. *Biomass and Bioenergy*, 38, 68–94. doi: 10.1016/j.biombioe.2011.01.048.
- Carone, M.T., & Pantaleo, A. (2011). Influencia of process parameters and biomass characteristics on the durability of pellets from the pruning residues of *Olea europaea* L. *Biomass Bioenergy*, 35(1), 402-410.
- Chou, C. S., Lin, S. H., Peng, C. C., & Lu, W. C. (2009). The optimum conditions for preparing solid fuel briquette of rice straw by a piston-mold process using the Taguchi method. *Fuel Processing Technology*, 90(7-8), 1041–1046. doi.org: 10.1016/j.fuproc.2009.04.007
- Fang, S., Tang, L.L., & Zhai, J. (2013). Clonal variation in growth, chemistry and caloric value of new polar hybrids at nursery stage. *Biomass Bioenergy*, 54, 303-311.
- Hansen, M.T., Jein, A.R., Hayes, S., & Bateman, P. (2009). *English handbook for wood pellet combustion*. Europe: National Energy Foundation.
- Hendra, D., & Darmawan, S. (2000). Pembuatan briket arang dari serbuk gergajian dengan penambahan tempurung kelapa. *Buletin Penelitian Hasil Hutan*, 18 (1), 1-9.
- Hendra, D. (2012). Rekayasa pembuatan mesin pelet kayu dan pengujian hasilnya. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 30(2), 144–154.
- Kalinyan, N., & Morey, R.V. (2009). Factors affecting strength and durability of densified biomass products. *Biomass Bioenergy*, 33(3), 337-359.
- Kartikasari, D. (2007). *Studi pengusahaan minyak kayu putih (cajuput oil) di PMKP Jatimunggul, KPH Indramayu Perum Perhutani Unit III Jawa Barat dan Banten*. (Skripsi). Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2017). Statistik lingkungan hidup dan kehutanan tahun 2016. Jakarta.
- Lamers, P., Junginger, M., Hamelinck, C., & Faaij, A. (2012). Developments in international solid biofuel trade? An analysis of volumes, policies, and market factors. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5), 3176–3199. doi: 10.1016/j.rser.2012.02.027.

- Lehtikangas, P. (2001). Quality properties of pelletised sawdust, logging residues and bark, *Biomass and Bioenergy*, 20, 351–360.
- Liliana, W. (2010). *Peningkatan kualitas biupelet bungkil jarak pagar sebagai bahan bakar melalui teknik karbonisasi*. (Tesis). Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Muharyani, R., Pratiwi, D., & Asip, F. (2012). Pengaruh suhu serta komposisi campuran arang jerami padi dan batubara subbituminus pada pembuatan briket bioarang. *Jurnal Teknik Kimia*, 18(1), 47–53.
- Nilsson, D., Bernesson, S., & Hansson, P. (2010). Pellet production from agricultural raw materials: A system study. *Biomass and Bioenergy*, 35(1), 679–689. doi: 10.1016/j.biombioe.2010.10.016.
- Nurwigha, R. (2012). *Pembuatan biupelet dari cangkang kelapa sawit dengan penambahan arang cangkang sawit dan serabut sawit sebagai bahan bakar alternatif terbarukan*. (Skripsi). Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Onu, F., Rahman, M.B.N., & Sudarja. (2010). Pengukuran nilai kalor bahan bakar briket arang kombinasi cangkang pala (*Myristica fragran* Houtt) dan limbah sawit (*Elaeis guineensis*). Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin UMY. ISSN: 2087-1368
- Pari, G. (2004). *Kajian struktur arang aktif dari serbuk gergaji kayu sebagai adsorben emisi formaldehida kayu lapis*. (Disertasi Doktor). Program Pasca Sarjana, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Poddar, S., Kamruzzaman, M., Sujana, S.M.A., Hossain, M., Jamal, M.S., & Khanam, M. (2014). Effect of compression pressure on lignocellulosic biomass pellet to improve fuel properties: Higher heating value. *Fuel* 131, 43–48. doi:10.1016/j.fuel.2014.04.061.
- Prasetyo, B. (2004). Pengaruh jumlah perekat dan variasi besar tekanan kempa terhadap kualitas briket arang dari sabutan kayu jati, sonokeling, dan kelapa. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.
- Qian, F.P., Chyang, C.S., Huang, K.S., & Tso, J. (2011). Combustion and NO emission of high nitrogen content biomass in a pilot-scale vortexing fluidized bed combustor. *Bioresource Technology*, 102 (2), 1892–1898. doi.org/10.1016/j.biortech.2010.08.008.
- Rusdianto, A.S. (2013). Kajian potensi penggunaan *by product* industri pertanian di Kabupaten Jember sebagai bahan baku pembuatan biupelet untuk bahan bakar alternatif. Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember, Jember.
- Rusdianto, A.S., Choiron, M., & Novijanto N. (2014). Karakterisasi limbah industri tape sebagai bahan baku pembuatan biupelet. *Jurnal Industrialisasi*, 1(3), 27–32.
- Samuelsson, R., Larsson, S. H., Thyrel, M., & Lestander, T. A. (2012). Moisture content and storage time influence the binding mechanisms in biofuel wood pellets. *Applied Energy*, 99, 109–115. doi: 10.1016/j.apenergy.2012.05.004.
- Saputro, D.D., Widayat W., Rusiyanto, Saptoadi H. & Fauzan. (2012). Karakterisasi briket dari limbah pengolahan kayu sengon dengan metode cetak panas. C. Kurniawan (Ed.) *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST) 2012*.
- Setiawan. (2007). *Memfaatkan kotoran ternak, solusi masalah lingkungan dan pemanfaatan energi alternatif*. Depok: Penebar Swadaya.
- Shen, D. K., Gu, S., Luo, K. H., Bridgwater, A. V, & Fang, M. X. (2009). Kinetic study on thermal decomposition of woods in oxidative environment. *Fuel*, 88(6), 1024–1030. doi.org: 10.1016/j.fuel.2008.10.034.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). (2014). *Pelet kayu*. (SNI 8021-2014). Badan Standardisasi Nasional.
- Sukmananto B. (2014). Perum Perhutani pelopor bisnis hijau. Makalah disampaikan dalam Seminar Nasional Silvikultur ke-2 di Yogyakarta, 28 Agustus 2014.

- Taylor, R. E., Butzelaar, P., Leeuwen, G. V., Palmer, A., Keyes, J., Gimenez, C. & MacDonald, B. (2013). Wood pellet market outlook. *Wood Market International Monthly Report*, 18(1), 1–3.
- Wibowo, T., Setyawati, D., Nurhaida, & Diba, F. (2016). Kualitas biopelet dari limbah batang kelapa sawit dan limbah kayu penggergajian. *Jurnal Hutan Lestari*, 4(4), 409–417.
- Yilmaz, S., & Selim, H. (2013). A review on the methods for biomass to energy conversion systems design. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25(c), 420–430.
- Yuniarti., Arhamsyah., Faisal, Y., & Theo, Y.P. (2011). Briket arang dari serbuk gergajian kayu meranti dan arang kayu galam. *Jurnal Riset Industri Hasil Hutan*, 3(2), 37–42.
- 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.

Lampiran 1. Hasil analisis Sidik ragam Kadar air
Appendix 1. Variation analysis on moisture content

Sumber keragaman (Source)	Derajat bebas (Degree of freedom)	Jumlah kuadrat (Sum of squares)	Rata-rata kuadrat (Mean square)	F _{hitung} (F _{Value})	Pr > F
Model	23	70,385349248	3,06015185	6,55	<,0001
Ukuran/Particles (U)	3	3,32384906	1,10794969	2,37	0,0954
Suhu (S)/Temperatures (S)	5	58,53795735	11,70759147	25,07	<,0001
U*S	15	8,52168606	0,56811240	11,02	0,3247
Error	24	11,20681550	0,46695065		
Total	47	81,59030798			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Kadar air Mean
0.862645	21,12640	0,683338	3,234521

Uji Duncan kadar air (*Duncan test on moisture content*)

Duncan Grouping				Duncan Grouping			
Kode	Mean	N	Ukuran (Particles)	Kode	Mean	N	Suhu (Temperatures)
A	3,6870	12	U1	A	4,5643	8	S1
BA	3,1268	12	U4	A	4,2491	8	S3
BA	3,0868	12	U3	A	4,0013	8	S2
B	3,0735	12	U2	B	2,8081	8	S4
				BC	2,2490	8	S5
				C	1,5534	8	S6

Lampiran 2. Hasil analisis Sidik ragam Kadar abu
Appendix 2. Variation analysis on ash content

Sumber keragaman (Source of variance)	Derajat bebas (Degree of freedom)	Jumlah kuadrat (Sum of squares)	Rata-rata kuadrat (Mean square)	F _{hitung} (F _{Value})	Pr > F
Model	23	180,3726745	7,8422902	12,78	<,0001
Ukuran/Particles (U)	3	146,5973257	48,8657752	79,66	<,0001
Suhu (S)/Temperatures (S)	5	13,5910379	2,7182076	4,43	0,0053
U*S	15	20,1843109	1,3456207	11,02	0,0417
Error	24	14,7226325	0,6134430		
Total	47	195,0953070			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Kadar abu Mean
0,924536	13,95373	0,783226	5,613021

Uji Duncan Kadar abu (*Duncan test of ash content*)

Duncan Grouping				Duncan Grouping			
Kode	Mean	N	Ukuran (Particles)	Kode	Mean	N	Suhu (Temperatures)
A	7,9618	12	U4	A	6,5013	8	S6
B	6,6137	12	U3	BA	5,9748	8	S5
C	4,1490	12	U1	BC	5,6329	8	S4
C	3,7276	12	U2	BC	5,5154	8	S2
				BC	5,2296	8	S3
				C	4,8243	8	S1

Lampiran 3. Hasil analisis Sidik ragam Kadar Zat Terbang
Appendix 3. Variation analysis on volatile matter

Sumber keragaman (Source of variance)	Derajat bebas (Degree of freedom)	Jumlah kuadrat (Sum of squares)	Rata-rata kuadrat (Mean square)	F _{hitung} (F _{Value})	Pr > F
Model	23	357,8232477	15,557325	53,48	<,0001
Ukuran/Particles (U)	3	112,1996418	37,3998806	128,55	<,0001
Suhu (S)/Temperatures (S)	5	176,7078547	35,3415709	121,48	<,0001
U*S	15	68,9157512	4,5943834	15,79	<,0001
Error	24	6,9822850	0,2909285		
Total	47	364,8055327			
<hr/>					
<i>R-Square</i>	<i>Coeff Var</i>	<i>Root MSE</i>	<i>Kadar zat terbang Mean</i>		
0,980860	0,759236	0,539378	71,04217		

Uji Duncan Kadar Zat Terbang (*Duncan test on volatile matter*)

<i>Duncan Grouping</i>				<i>Duncan Grouping</i>			
Kode	Mean	N	Ukuran (Particles)	Kode	Mean	N	Suhu (Temperatures)
A	73,1843	12	U2	A	72,5174	8	S1
B	71,6843	12	U1	A	72,4869	8	S4
C	70,1363	12	U3	A	72,1746	8	S2
D	69,1638	12	U4	B	71,5495	8	S3
				C	70,4784	8	S5
				D	67,0463	8	S6

Lampiran 4. Hasil analisis Sidik ragam Kadar Karbon Terikat
Appendix 4. Variation analysis on fixed carbon

Sumber keragaman (Source of variance)	Derajat bebas (Degree of freedom)	Jumlah kuadrat (Sum of squares)	Rata-rata kuadrat (Mean square)	F _{hitung} (F _{Value})	Pr > F
Model	23	300,5834237	13,0688445	100,15	<,0001
Ukuran/Particles (U)	3	3,2943852	1,0981284	8,42	0,0005
Suhu (S)/Temperatures (S)	5	271,5995389	54,3199078	416,27	<,0001
U*S	15	25,6894996	1,7126333	11,02	<,0001
Error	24	3,1318140	0,1304922		
Total	47	303,7152377			
<hr/>					
<i>R-Square</i>	<i>Coeff Var</i>	<i>Root MSE</i>	<i>Kadar karbon terikat Mean</i>		
0,989688	1,796254	0,361237	20,11058		

Uji Duncan Kadar Karbon terikat (*Duncan test on fixed carbon*)

<i>Duncan Grouping</i>				<i>Duncan Grouping</i>			
Kode	Mean	N	Ukuran (Particles)	Kode	Mean	N	Suhu (Temperatures)
A	20,4798	12	U1	A	24,8993	8	S6
B	20,1643	12	U3	B	21,2979	8	S5
CB	20,0507	12	U2	C	19,0721	8	S4
C	19,7476	12	U4	C	18,9715	8	S3
				D	18,3090	8	S2
				D	18,1138	8	S1

Lampiran 5. Hasil analisis Sidik ragam Keteguhan Tekan

Appendix 5. Variation analysis on compression strength

Sumber keragaman (Source of variance)	Derajat bebas (Degree of freedom)	Jumlah kuadrat (Sum of squares)	Rata-rata kuadrat (Mean square)	F _{hitung} (F _{Value})	Pr > F
Model	23	5548,084641	241,221071	5,01	0,0001
Ukuran/Particles (U)	3	2071,601954	690,533985	14,35	<,0001
Suhu (S)/Temperatures (S)	5	922,040870	184,408174	3,83	0,0108
U*S	15	2554,441817	170,296121	3,54	0,0029
Error	24	1155,115578	48,129816		
Total	47	6703,200219			
<hr/>					
R-Square	Coeff Var	Root MSE	Keteguhan Tekan Mean		
0,827677	25,63124	6,937566	27,06683		

Uji Duncan Keteguhan Tekan (Duncan test on compression strength)

Duncan Grouping				Duncan Grouping			
Kode	Mean	N	Ukuran (Particles)	Kode	Mean	N	Suhu (Temperatures)
A	32,499	12	U2	A	34,966	8	S5
A	31,248	12	U3	BA	30,291	8	S6
A	28,562	12	U1	BC	26,218	8	S1
B	15,958	12	U4	BC	25,438	8	S2
				BC	23,672	8	S4
				C	21,817	8	S3

Lampiran 6. Hasil analisis Sidik ragam Nilai kalor

Appendix 6. Variation analysis on caloric value

Sumber Keragaman (Source of variance)	Derajat bebas (Degree of freedom)	Jumlah Kuadrat (Sum of squares)	Rata-rata kuadrat (Mean square)	F _{hitung} (F _{Value})	Pr > F
Model	23	3330787,979	144816,869	1,96	0,0537
Ukuran/Particles (U)	3	118139,063	39379,688	0,53	0,6634
Suhu (S)/Temperatures (S)	5	1772103,354	354420,671	4,81	0,0035
U*S	15	1440545,562	96036,371	1,30	0,2739
Error	24	1769952,500	73748,021		
Total	47	5100740,479			
<hr/>					
R-Square	Coeff Var	Root MSE	Nilai Kalor Mean		
0,653001	5,627263	271,5659	4825,896		

Uji Duncan Nilai Kalor (Duncan test on caloric value)

Duncan Grouping				Duncan Grouping			
Kode	Mean	N	Ukuran (Particles)	Kode	Mean	N	Suhu (Temperatures)
A	4903,6	12	U3	A	5043,0	8	S6
A	4818,7	12	U2	A	5009,4	8	S4
A	4815,9	12	U1	A	4997,3	8	S5
A	4765,4	12	U4	B	4669,9	8	S2
				B	4634,0	8	S1
				B	4601,9	8	S3