

PENGARUH CAMPURAN LIMBAH KAYU RAMBAI DAN API-API TERHADAP KUALITAS BIOPELLET SEBAGAI ENERGI ALTERNATIF DARI LAHAN BASAH

The Effect of Mixed Wasted Wood Rambai and also Wasted Api towards the Quality of Biopellet as an alternative energy of Wetlands

Muhammad Faisal Mahdie, Darni Subari, Sunardi, dan Diana Ulfah

Fakultas Kehutanan Universitas Lambung Mangkurat, Jl. A. Yani Km. 36, Banjarbaru, Indonesia

ABSTRACT. Bio-pellet made of Rambai and Api-api waste wood is an environmentally acceptable alternative energy. Aims of the research are 1) Produce bio-pellet as an alternative energy from wet land area, 2) analyze bio-pellet characteristics, 3) determine the quality of bio-pellet produced.. The results of research are, the highest moisture content of bio-pellet is B treatment (mixed of 70% Rambai and 30 % Api-api wood waste), 7.019 % and the lowest is A treatment (100 % Rambai wood waste), 5.335 %. The highest density is A treatment, 0.532 gr/cm³ and the lowest is B treatment, 0.483 gr/cm³. The highest caloric value is A treatment, 4,706.94 cal./gr and the lowest is C treatment (mixed of 30 % Rambai and 70 % Api-api wood waste), 4,223.273 cal./gr. The highest ash content is B treatment, 4.947 % and the lowest is A treatment, 2.617 %. Volatile matter of A treatment show the highest value 21,332 % and the lowest is D treatment (100 % Api-api woods waste), 13,553 %. The highest bonded carbon is C treatment 76.673 % and the lowest is A treatment 70,717 %.

Keywords : Rambai wood waste; Api-api; wood waste; Bio-pellet.

ABSTRAK. Biopellet dari campuran limbah kayu rambai dan limbah kayu api-api merupakan salah satu energi alternatif yang ramah lingkungan. Tujuan penelitian ini adalah (1) Menghasilkan biopellet sebagai energi alternatif dari lahan basah (2) Menganalisa karakteristik biopellet, 3) Menentukan kualitas produk biopellet yang di hasilkan. Hasil Penelitian kadar air biopellet tertinggi terdapat pada perlakuan B (70% limbah kayu rambai+30% limbah kayu api-api) sebesar 7,019% dan kadar air terendah pada perlakuan A (100% limbah kayu rambai) yaitu 5.335 %. Kerapatan tertinggi terdapat pada perlakuan A, 0.532 gr/cm³ dan kerapatan terendah terdapat pada perlakuan B yaitu 0.483 gr/cm³. Nilai kalor tertinggi terdapat pada perlakuan A sebesar 4706,940 kal/g dan yang terendah pada perlakuan C (30% limbah kayu rambai+70% limbah kayu api-api) sebesar 4223,273 kal/g. Kadar abu tertinggi terdapat pada perlakuan B sebesar 4,947 % dan yang terendah terdapat pada perlakuan A sebesar 2,617%. Nilai zat terbang tertinggi terdapat pada perlakuan A yaitu sebesar 21,332 % dan yang terendah terdapat pada perlakuan D (100 % limbah kayu Api-api) yaitu sebesar 13,553 %. Kadar karbon terikat tertinggi terdapat pada perlakuan C yaitu sebesar 76.673 % dan terendah terdapat pada perlakuan A sebesar 70,717 %.

Kata Kunci: Limbah Kayu Rambai; Limbah Kayu; Api Api; Biopellet

Penulis untuk korespondensi, surel: faisalmahdie@gmail.com

PENDAHULUAN

Beberapa tahun terakhir ini energi merupakan persoalan besar yang berdampak besar terhadap perekonomian dunia. Hal ini dipicu oleh meningkatnya pertumbuhan penduduk, tingginya biaya eksplorasi dan sulitnya mencari sumber cadangan minyak serta banyaknya tuntutan masyarakat dunia tentang emisi karbon gas buangan. Faktor-faktor tersebut mendorong pemerintah untuk segera memproduksi energi alternatif yang terbarukan dan ramah lingkungan. Oleh karena itu perlu adanya upaya untuk mencari bahan bakar alternatif yang lebih murah dan tersedia dengan mudah.

Sumber energi alternatif yang banyak diteliti dan dikembangkan saat ini adalah energi biomassa yang ketersediaannya melimpah, mudah diperoleh dan diperbaharui secara cepat. Pada umumnya biomassa yang digunakan sebagai bahan bakar adalah biomassa yang memiliki nilai ekonomi rendah atau merupakan hasil ekstraksi produk primer (El Bassam dan Maegaad, 2004)

Indonesia memiliki potensi energi biomassa sebesar 50.000 Mw yang bersumber dari berbagai limbah pertanian dan seperti produk samping dari kelapa sawit, penggilingan padi, plywood, pabrik gula, kakao dan limbah pertanian lainnya (Prihandana dan Hendroko, 2007). Badan Litbang Kehutanan telah melaksanakan riset kayu energi sejak tahun 1970, termasuk riset pengaruh kenaikan bahan bakar minyak terhadap konsumsi bahan bakar (Zahrul dan Fatriani, 2000).

Biomassa pelet (biopellet) adalah bahan bakar padat berbentuk silinder yang dapat menjadi alternatif dan ketersediaan bahan bakunya sangat mudah didapatkan dan merupakan salah satu bentuk bahan bakar padat yang terbuat dari biomassa dengan ukuran lebih kecil dari ukuran briket yang diproses menggunakan pengempaan pada suhu dan tekanan tinggi

Penelitian ini berjudul Pengaruh Campuran Limbah Kayu Rambai dan Api-api terhadap Kualitas Biopellet Sebagai Energi Alternatif dari Lahan Basah sesuai dengan roadmap riset unggulan

Universitas Lambung Mangkurat yaitu "Energi alternatif dan terbarukan" dimana diteliti limbah dari vegetasi khas lahan basah yaitu Rambai dan Api-api sebagai energi alternatif terbarukan yang ramah lingkungan sehingga diharapkan dapat mengurangi efek rumah kaca. Melalui penelitian ini diharapkan diperoleh data awal tentang biobriket dari vegetasi lahan basah Kalimantan Selatan yaitu Rambai dan Api-api sebagai energi terbarukan.

METODE PENELITIAN

Pengambilan limbah pohon Rambai dan Api-api bertempat di Kabupaten Banjar. Pengujian biopellet dilakukan di Laboratorium Balai Riset Standardisasi dan Industri Banjarbaru. Pengolahan biopellet dilakukan di Laboratorium Teknologi Hasil Hutan Fakultas Kehutanan ULM.

Bahan yang digunakan adalah limbah dari pohon Rambai dan Api-api serta perekat tapioka. Alat yang digunakan pada penelitian ini meliputi gergaji, parang, alat penghancur limbah kayu, alat pencetak biopellet, ayakan 40-60 mesh, baskom, lem, korek api, oven, *Bomb calorimeter*, timbangan elektrik, sendok, kaliper, cawan porselen, kamera dan alat tulis menulis.

Proses pembuatan biopellet

Bahan baku limbah kayu Rambai dan Api-api dicacah halus, tujuannya agar mendapatkan ukuran partikel bahan yang seragam. Setelah dihancurkan bahan baku tersebut diayak dengan menggunakan ayakan 40 – 60 mesh untuk mendapatkan partikel yang halus dan lebih seragam. Tahapan selanjutnya adalah pencampuran bahan dengan perekat tapioka sebesar 0,5 – 5% atau 2,5% dari berat bahan. Pencetakan biopellet dilakukan dengan menggunakan mesin pellet (*pellet mill*) diameter biopellet yaitu 8 – 11 mm, panjang biopellet 15 -20 mm. Setelah biopellet keluar dari mesin pellet langkah selanjutnya adalah dilakukan pengeringan dibawah sinar matahari atau dalam bak pengering kurang lebih 1 jam. Tahap selanjutnya adalah pengemasan biopellet.

Parameter uji biopellet

Karakteristik fisik biopellet diukur dengan menggunakan ASTM D5142-02:

Nilai kalor

Ambil contoh uji ± 1 gram, kemudian diletakkan dalam cawan silika dan diikat dengan kawat nikel, kemudian dimasukkan kedalam tabung dan ditutup rapat. Tabung tersebut dialiri oksigen selama 30 detik. Tabung dimasukkan dalam *Oxygen Bomb Calorimeter*. Pembakaran dimulai saat suhu air sudah tetap dengan pengukuran suhu optimum. Besarnya nilai kalor sesuai dengan persamaan sebagai berikut:

$$NK = \frac{\Delta t \times W}{Mbb} - B$$

Dimana:

NK = nilai kalor (Kal/gr)

Δt = perbedaan suhu rata-rata ($^{\circ}\text{C}$)

Mbb = massa bahan bakar

B = koreksi panas kawat besi (kal g^{-1})

Kadar abu

Penetapan kadar abu dilakukan dengan 1 gram sampel yang diletakkan pada cawan porselin yang bobotnya sudah diketahui. Kemudian dimasukkan kedalam oven dengan suhu $600-900^{\circ}\text{C}$ selama 5-6 jam. Selanjutnya didinginkan dalam desikator sampai kondisi stabil dan ditimbang kadar abu dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\text{Kadar abu} = \frac{\text{berat abu}}{\text{berat sampel}} \times 100\%$$

Kadar air

Penetapan kadar air dilakukan dengan mengambil 1 gram sampel dan diletakkan dalam cawan porselen dengan bobot yang sudah diketahui. Kemudian dikeringkan dalam oven dengan suhu $\pm 103^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam sampai kadar air konstan. Kemudian didinginkan dalam desikator sampai suhu stabil dan timbang, kadar air dihitung dengan rumus:

$$\text{Kadar air} = \frac{BB - BKT}{BKT} \times 100\%$$

Dimana:

BB = berat bahan sebelum dioven

BKT = berat setelah dioven

Kerapatan

Penentuan kerapatan dinyatakan dari hasil perbandingan antara berat dan volume biobriket. Pengujian dilakukan dengan metode Archimedes yaitu mengukur massa sampai uji dan mengukur volume sampel dengan menenggelamkan sampel kedalam air didalam gelas ukur. Kerapatan dihitung dengan rumus:

$$\text{Kerapatan} = \frac{\text{massa (g)}}{\text{volume (ml)}}$$

Kadar terikat

Penetapan nilai karbon terikat dilakukan setelah didapat hasil kadar zat terbang dan kadar abu yang dihitung dengan rumus:

$$\text{Kadar terikat} = 100 - (\text{kadar air} - \text{zat mudah menguap} - \text{kadar abu})$$

Zat terbang

Ambil 1 gram sampel dan letakkan pada cawan porselin yang bobotnya sudah diketahui. Kemudian masukkan dalam oven dengan suhu $950 \pm 20^{\circ}\text{C}$ selama 7 menit, kemudian didinginkan dalam desikator sampai kondisi stabil dan ditimbang. Zat terbang dihitung dengan rumus:

$$\text{Zat terbang} = \frac{B - C}{W} \times 100\%$$

Dimana:

B = berat sampel setelah dikeringkan dari uji kadar airnya (g)

C = berat sampel setelah dioven (g)

W = berat sampel sebelum uji kadar air (g)

Analisis data

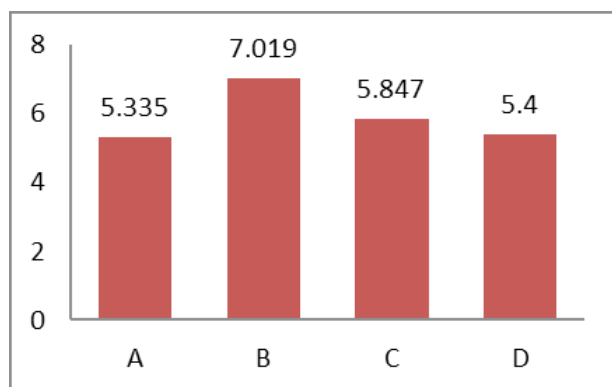
Penelitian ini menggunakan model rancangan acak lengkap (RAL) dengan 4 perlakuan dan 3 ulangan, perlakuan tersebut yaitu:

- A = 100% serbuk limbah kayu Rambai
- B = 70% serbuk limbah kayu Rambai+30% serbuk limbah Api-api
- C = 30% serbuk limbah kayu Rambai+70% serbuk limbah kayu Api-api
- D = 100% limbah kayu Api-api

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kadar Air

Rata-rata kadar air biopellet berkisar antara 5,335 – 7,019 %. Hasil penelitian ada yang memenuhi standar dan ada yang tidak memenuhi standar Amerika (6%), untuk perlakuan yang memenuhi standar yaitu perlakuan faktor A, C dan D, sedangkan perlakuan B tidak memenuhi standar Amerika. Secara lengkap data nilai hasil pengujian kadar air briket arang ditunjukkan pada Gambar 1 berikut



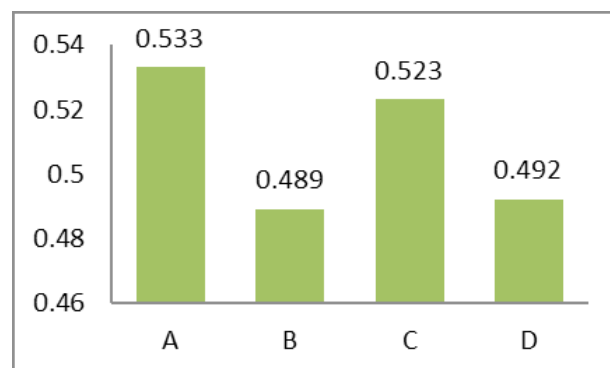
Gambar 1. Grafik nilai rata-rata kadar air

Grafik pada Gambar 1 dapat dilihat bahwa kadar air tertinggi terdapat pada perlakuan B (70% limbah serbuk kayu Rambai+30% limbah serbuk kayu Api-api) dan yang terendah terdapat pada perlakuan A (100% limbah serbuk kayu Rambai). Menurut Djeni (2012) kadar air yang tinggi menyebabkan proses pembakaran yang lambat dan menurunkan temperatur pada proses pembakaran. Menurut Rahman (2011) dalam Andrian (2015) yang menyatakan bahwa tinggi tekanan saat pencetakan biopellet menyebabkan biopellet semakin padat, kerapatan tinggi, halus dan seragam sehingga partikel biomassa dapat saling mengisi pori-pori yang kosong serta menurunkan molekul air yang dapat menempati pori-pori tersebut.

Berdasarkan hasil analisis keragaman diketahui campuran limbah kayu Rambai dan campuran limbah kayu Api-api berpengaruh nyata terhadap nilai kadar air biopellet. Sedangkan hasil uji lanjutan BNT menunjukkan bahwa perlakuan B merupakan perlakuan yang terbaik dibanding perlakuan C, D dan A. Semakin rendah nilai kadar air akan meningkatkan nilai kalor. Rendahnya nilai kadar air akan memudahkan proses dalam penyalaan dan menurunkan asap pembakaran (Rahman, 2011). Nilai kadar air yang dihasilkan mengalami penurunan pada perlakuan A (100% limbah Rambai), hal ini diduga karena adanya kemampuan menyerap dan mengeluarkan air terhadap lingkungan disekitarnya sehingga tercapai kadar air keseimbangan. Perbedaan kadar air ini juga disebabkan oleh perbedaan sifat fisik kedua jenis kayu tersebut.

Kerapatan

Kerapatan menunjukkan perbandingan antara berat dan volume briket arang. Data nilai hasil pengujian kerapatan briket arang dapat dilihat pada Gambar 2 berikut ini



Gambar 2. Grafik nilai rata-rata Kerapatan

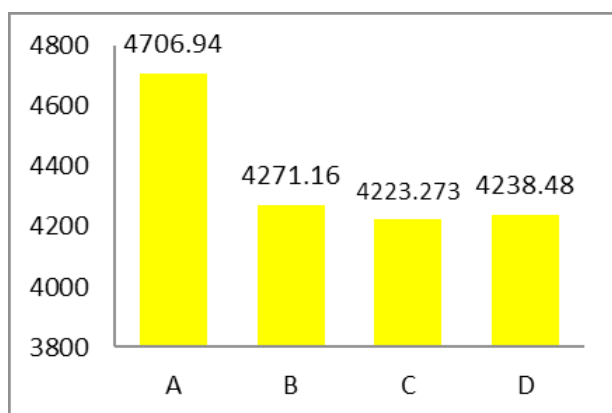
Nilai kerapatan tertinggi terdapat pada perlakuan A (100 limbah serbuk kayu Rambai) yaitu sebesar 0,533 gr/cm³ dan yang terendah terdapat pada perlakuan B sebesar 0,489 gr/cm³. Tinggi atau rendahnya nilai kerapatan dipengaruhi oleh berat jenis bahan tersebut (Hartoyo, 1983), berat jenis kayu rambai berkisar 0,39-0,42 gr/cm³, hal ini dipertegas oleh departemen perindustrian (1983) yang menyatakan bahwa kerapatan ditemukan oleh berat jenis dan kekerasan kayu yang digunakan, berat jenis yang rendah akan menghasilkan kerapatan yang tinggi.

Faktor suhu juga berpengaruh terhadap kerapatan, semakin tinggi suhu yang diberikan pada pembuatan biopellet maka kerapatan yang dihasilkan semakin tinggi pula. Hill (2006) mengemukakan bahwa karbon pada struktur lignin terurai dimana semakin banyak karbon yang terurai akan mengakibatkan derajat kristalinitas tinggi, sehingga ikatan antar struktur lignin yang lain semakin erat. Demirbras (1999) menambahkan bahwa kerapatan ditentukan oleh tekanan yang diberikan pada saat proses densifikasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hampir semua perlakuan untuk kerapatan biopellet tidak memenuhi standar Amerika ($>0,46 \text{ gr/cm}^3$).

Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa perlakuan campuran limbah kayu rambai dan limbah kayu api tidak berpengaruh nyata terhadap nilai kerapatan biopellet. Menurut Adapa *et al* (2009) semakin tinggi nilai kerapatan biopellet dapat memudahkan dalam hal penanganan, penyimpanan dan transportasi biopellet sehingga dapat menurunkan biaya yang dibutuhkan.

Nilai Kalor

Nilai kalor merupakan salah satu indikator dalam menentukan kualitas bahan bakar yang dipengaruhi oleh kadar abu dan karbon terikat (Lehtikangas, 2001). Data hasil pengujian nilai kalor dapat dilihat pada Gambar 3 berikut ini



Gambar 3. Grafik nilai rata-rata Nilai Kalor

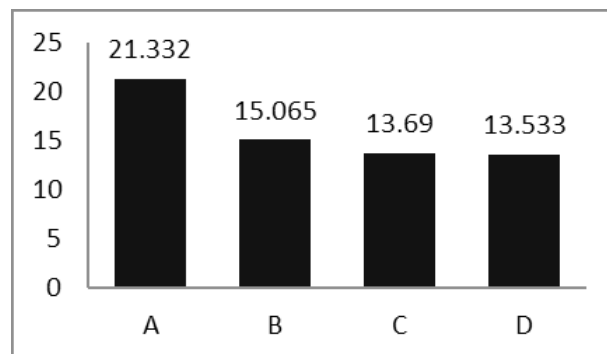
Nilai kalor tertinggi terdapat pada perlakuan A yaitu sebesar 4.706,940 kal/g dan yang terendah pada perlakuan 4.223,273 kal/g. Menurut Nurhayati (1974) dalam Wijayanti (2009) bahwa nilai kalor dipengaruhi oleh besarnya kadar air dan kadar abu pelet kayu.

Nilai kalor yang semakin tinggi menunjukkan kualitas bahan yang semakin baik (Rahman, 2011). Nilai kalor berbanding terbalik dengan nilai kadar air, semakin tinggi kandungan kadar air suatu bahan bakar maka nilai kalor yang dihasilkan akan semakin rendah. Hal ini dipertegas oleh Yanti (2013), yang menyatakan nilai kalor erat kaitannya dengan kadar air dan kerapatan dari pelet yang dihasilkan. Sudrajat (1983), mengemukakan bahwa semakin tinggi kadar air yang dikandung oleh suatu bahan kayu, maka nilai kalor yang diperoleh akan semakin rendah. Hal ini disebabkan karena panas yang tersimpan dalam pellet kayu terlebih dahulu digunakan untuk mengeluarkan air yang ada sebelum kemudian menghasilkan panas yang dapat dipergunakan sebagai panas pembakaran.

Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa perlakuan campuran limbah kayu Rambai dan limbah kayu Api-api tidak berpengaruh nyata terhadap nilai kalor. Hasil nilai kalor juga berbanding lurus dengan nilai karbon terikat dan kadar abu, hal ini disebabkan oleh karbon yang terdapat dalam bahan bakar banyak yang terbakar sehingga meningkatkan nilai kalor dan menghasilkan banyak kadar abu. Hasil pengujian nilai kalor perlakuan A (4706,940 Kal/gr) tidak memenuhi standar Amerika (4600 Kal/gr), tetapi perlakuan B, C dan D memenuhi Standar Amerika.

Kadar Zat Terbang

Zat mudah menguap dari hasil dekomposisi senyawa-senyawa yang terdapat didalam arang selain air (Hendra *et al*, 2000). Data hasil pengujian kadar zat terbang dapat dilihat pada Gambar 4 berikut ini :



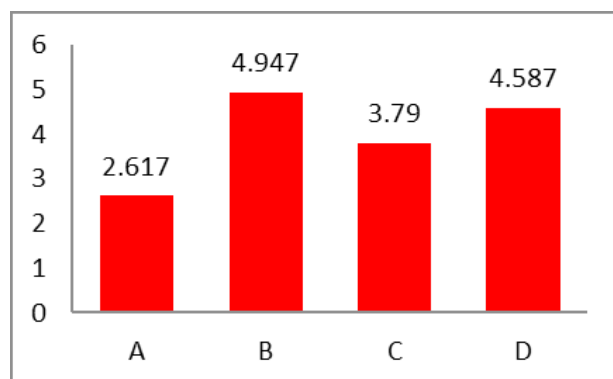
Gambar 4. Grafik rata-rata nilai Kadar Zat Terbang

Nilai tertinggi zat terbang terdapat pada perlakuan A yaitu sebesar 21,332% dan terendah terdapat pada perlakuan D yaitu sebesar 13,533%. Untuk standar Amerika tidak mensyaratkan nilai standar zat terbang.

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan campuran limbah kayu Rambai dan limbah kayu Api-api berpengaruh sangat nyata. Semakin tinggi kadar zat terbang maka semakin banyak pula asap yang dihasilkan pada proses pembakaran. Hal ini disebabkan karena adanya reaksi antara karbon monoksida (CO) dengan turunan alkohol (Hendra *et al*, 2000). Semakin tinggi kadar zat terbang suatu bahan bakar maka efisiensi pembakaran akan menurun dan asap yang dihasilkan akan semakin banyak (Nurwigha, 2012). Nilai zat terbang dalam bahan bakar menentukan waktu pembakaran, kecepatan pembakaran dan banyaknya asap yang dihasilkan saat proses pembakaran (Hansen, 2009).

Kadar abu

Kadar abu adalah sisa proses pembakaran yang tidak memiliki nilai kalor dan sudah tidak memiliki unsur karbon (Nugrahaeni, 2008). Data hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 5 berikut ini



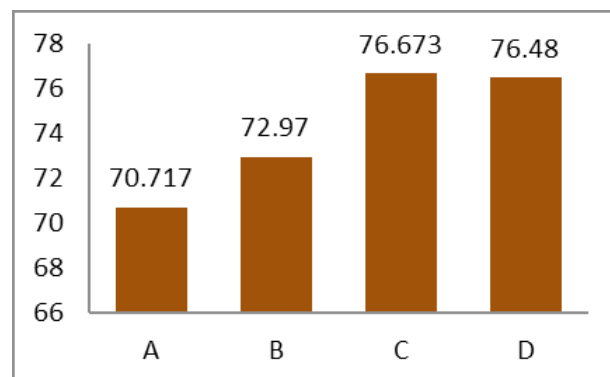
Gambar 5. Grafik rata-rata nilai Kadar Abu

Nilai rata-rata pengujian kadar abu tertinggi terdapat pada perlakuan B yaitu sebesar 4,947% dan yang terendah terdapat pada perlakuan A yaitu sebesar 2,617%. Dari semua perlakuan tidak satu pun yang memenuhi standar Amerika yaitu kadar abu kurang dari 1,5% (<1,5%). Berdasarkan analisis sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan berpengaruh sangat nyata. Jumlah abu yang

dihasilkan dipengaruhi oleh jenis bahan biomassa yang digunakan. Salah satu penyusun abu adalah silika, semakin tinggi kadar silika suatu bahan biomassa maka abu yang dihasilkan dalam proses pembakaran akan semakin tinggi pula (Rahman, 2011). Hal ini dipertegas oleh pendapat Djeni (2012) yang mengemukakan penyusun utama kandungan abu adalah unsur silika. Unsur silika tidak ikut terbakar pada proses pembakaran sehingga dapat menurunkan energi dan mutu kualitas dari biopellet. Ohman *et al* (2009) juga menambahkan kandungan abu akan menimbulkan kerak pada pembakaran.

Kadar Karbon Terikat

Karbon terikat merupakan fraksi karbon (C) yang terdapat dalam komponen bahan selain air, abu dan zat mudah menguap sehingga karbon terikat dalam biopellet dipengaruhi oleh nilai zat terbang dan kadar abu biopellet (Nugrahaeni, 2008). Data hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 6 berikut ini



Gambar 6. Grafik rata-rata nilai Kadar Karbon Terikat

Nilai rata-rata tertinggi karbon terikat terdapat pada perlakuan C yaitu 76,673% dan yang terendah terdapat pada perlakuan A yaitu sebesar 70,717%. Standar Amerika untuk nilai kadar karbon terikat tidak disyaratkan. Berdasarkan analisis sidik keragaman menunjukkan bahwa perlakuan campuran limbah kayu Rambai dan limbah kayu Api-api berpengaruh sangat nyata. Pengukuran karbon terikat menunjukkan jumlah material padat yang dapat terbakar setelah komponen zat terbang dihilangkan dari bahan tersebut (Speight, 2005). Nilai karbon terikat berbanding terbalik dengan zat mudah menguap.

SIMPULAN DAN SARAN

SIMPULAN

Karakteristik biopellet terbaik terdapat pada perlakuan A yaitu 100% limbah kayu rambai dengan nilai kadar air 5,335%, kerapatan 0,533 gr/cm³, nilai kalor 4706,940kal/gr, kadar abu 2,617%, kadar zat terbang 21,332 % dan kadar karbon terikat 70,717 %.

Biopellet yang dihasilkan pada perlakuan A yaitu 100 % limbah kayu rambai berdasarkan pengujian kadar air dan kerapatan memenuhi Standar Amerika (ASTM), kecuali kadar abu yang melebihi standar, sedangkan nilai kalor 4.706,940 kal/gr tidak memenuhi standar Amerika (ASTM) tetapi masih memenuhi Standar Nasional Indonesia (lebih besar dari 4.000 kal/gr) dan Standar Korea Selatan (lebih besar dari 4.300 kal/gr).

SARAN

Perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai waktu pendidihan air, laju konsumsi bahan bakar dan efisiensi pembakaran dan penggunaan kombinasi bahan baku lain dari limbah kayu lahan basah untuk menghasilkan biopellet dengan kualitas yang lebih baik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Ristekdikti dan Universitas Lambung Mangkurat yang telah membiayai kegiatan ini melalui Hibah Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi Tahun 2016.

DAFTAR PUSTAKA

Adapa P, Tahe L, Schoenau G. 2009. *Compression characteristics of Selected Ground Agricultural Biomass*. Agricultural Engineering International the CIGRE Journal Manuscript 1347. Vol XI

American Society For Testing dan Materials. 2002. *ASTM Standar Coal dan Coke D5*. Philadhelpia.

Bantacut T, Hendara D, Nurwigha R. 2013. *Mutu Biopellet dari Campuran Arang dan Sabut Cangkang Sawit*. Jurnal Teknologi Industri Pertanian. Bogor: Institut Pertanian Bogor.

Belonio. AT. 2005. *Rice Husk Gas Stove Handbook*. Iloilo City: Central Philippine University.

Hansen, MT, Jein AR, Hayes S, Bateman P. 2009. *English Handbook for Wood Pellet Cambustion*. Intelligent Energy for Europe.

Hartoyo. 1983. *Pembuatan Arang dan Briket Arang Secara Sederhana dari Serbuk Gergajian dan Limbah Industri Perkayuan*. Puslitbang Hasil Hutan. Bogor.

Hendra D. dan Pari G. 2000. *Penyempurnaan Teknologi Pengolahan Arang*. Laporan Hasil Penelitian Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan. Balai Penelitian dan Pengembangan Kehutanan. Bogor.

Heyne. 1987. *Tumbuhan Berguna Indonesia Ke-1*. Jakarta. Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan. Departemen Kehutanan Jakarta.

Hill. C. 2006. *Wood Modification: Chemical, Thermal and other Processes*. John Wiley and Sons. Inc. England 239 p.

Lehtikangs, P. 2001. *Quality Properties of Pelletised Sawdusti Logging Residues and Bark Biomassa and Bioenergy* 20 (5): 351-360.

Liliana, W. 2012. *Peningkatan Kualitas Biopellet Bungkil Jarak Pagar Sebagai Bahan Bakar Melalui Teknik Kerbonisasi*. Tesis Fakultas Teknologi Pertanian. IPB.

Nugrahaeni, Jl. 2008. *Pemanfaatan Limbah Tembakau (Nicotiana tabacum, L) untuk Bahan Pembuatan Briket sebagai Bahan Bakar Alternatif*. Fakultas Teknologi: IPB.

Nurwigha, R. 2012. *Pembuatan Biopellet dari Cangkang Kelapa Sawit dengan Penambahan Arang Cangkang Sawit dan Serabut Sawit sebagai Bahan Bakar Alternatif Terbarukan*. Fateta, IPB. Bogor.

- Ohman, M, Nystrom I, Gilbe C. 2009. *Siag Formation During Combustion of Biomassa Fuels*. International Conference on Solid Biofuels. Beijing.
- PP. No. 5. 2006. *Tentang Kebijakan Energi Nasional*.
- Prihandanar, Hendroko. 2007. *Energi Hijau* Jakarta Penebar Swadaya.
- Rahman. 2011. *Uji Keragaan Biopellet dari Biomassa Limbah Sekam Padi (Oryza sativa sp) sebagai Bahan Bakar Alternatif Terbarukan* [Skripsi]. Bogor: Fakultas Teknologi Pertanian. Institut Pertanian Bogor.
- Roos, Joseph A. Brackley, Allen, M. 2012, *The Asian Wood Pellet Markets. Gen Tech Rep, PNW-GTR-861*. Portland, OR. U.S. Departement of Agriculture, Forest Service, Pasific Northwest Research Station. 25p.
- Speight, JG. 2005. *Handbook of Coal Analysis*. New Jersey: John Wiley and Sons, Inc.
- Sudrajat. 1982. *Produksi Arang dari Briket Arang serta Prospek Pengusahanya. Balai Penelitian dan Pengembangan Kehutanan*. Departemen Pertanian Bogor.
- Wijayanti D.S. 2009. *Karakteristik Briket Arang dari Serbuk Gergajian dengan Penambahan Arang Cangkang Kelapa Sawit* [Skripsi]. Medan. Departemen Kehutanan. Fakultas Pertanian. Universitas Sumatera Utara.