

Pemanfaatan Biomassa Tumbuhan Menjadi Biopellet sebagai Alternatif Energi Terbarukan

Wahyullah, Oka dwi Putra, Ismail

Fakultas Kehutanan Universitas Hasanuddin

E-mail: Wahyullah405@gmail.com

Abstract: Energy demand is increasingly increasing day by day. Renewable energy innovation is continuously developed one of Biopellet. Indonesia itself has a biomass energy potential of 50,000 MW sourced from a variety of biomass that has not been utilized with the maximum waste diantaranya of clove leaf. Therefore, this study aims to determine the characteristics and quality of biopellet from clove leaf distillation waste. Clove leaves in dry to moisture content of 15% - 30% then made powder sized with mesh 20 and 40 with hummer mill. Clove leaf powder mixed with molasses (glues) powder composition: molasses 80:20 then in print. To further heat up to 90 °C, 110 °C, and 130 °C. After reaching each treatment temperature, the powder in the mold is pressed at a pressure of 93 kg / cm². The samples that have been subjected to pressure, allowed to stand for 20 minutes, are then removed from the mold. Biopellet moisture content was 9.8%, 8.3%, 6.7%, respectively. Density of each 0.5%, 0.65%, 0.58%. The ash content was 3.9%, 5%, 3.3%, respectively. the heating value of each of 17.52MJ / kg, 17.47 MJ / kg, 17.53 MJ / kg. The duration of ignition of the biopellet was 40, 39, 40 seconds respectively. Length of ignition 0.17 g / min, 0.18 g / min, 0.18 g / min. Biopellet's water content meets Australian, German, Swedish, French standards. Density meets swedish standards. Ash content meets french standards. Biopellet calorific values meet German and French standards.

Keywords: Biopellet, Moisture, Density, Ash Content, Heat Value

Abstrak: Kebutuhan energi semakin hari semakin meningkat oleh sebab itu Inovasi energi terbarukan terus di kembangkan salah satunya Biopellet. Indonesia sendiri memiliki potensi energi biomassa sebesar 50.000 MW yang bersumber dari berbagai biomassa yang belum di manfaatkan dengan maksimal diantaranya limbah penyulingan daun cengkeh. Oleh sebab itu penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dan mutu biopellet dari limbah penyulingan daun cengkeh. Daun cengkeh di kering hingga kadar air 15% - 30% selanjutnya di buat serbuk berukuran mesh 20 dan 40 dengan hummer mill. Serbuk daun cengkeh di campur dengan molases (perekat) komposisi serbuk : molases 80:20 kemudian di cetak. Untuk selanjutnya di panaskan sampai mencapai suhu 90 °C, 110 °C, dan 130 °C . Sesudah mencapai setiap suhu perlakuan tersebut, serbuk dalam cetakan ditekan dengan tekanan 93 kg/cm². Sampel yang telah mengalami penekanan, didiamkan selama 20 menit, selanjutnya dikeluarkan dari cetakan. kadar air Biopellet masing-masing sebesar 9,8% , 8,3% , 6,7%. Kerapatan masing-masing 0,5%, 0,65%, 0,58%. Kadar abu masing-masing 3,9 % , 5% , 3,3 % . nilai Kalor masing-masing 17,52MJ/kg, 17,47 MJ/kg, 17,53 MJ/kg. Lama penyalaan biopellet masing-masing 40, 39, 40 detik. Lama penyalaan 0,17 g/menit, 0,18 g/menit, 0,18 g/menit. Kadar air Biopellet memenuhi standar Australia, Jerman, Swedia, Perancis. Kerapatan memenuhi standar swedia. Kadar Abu memenuhi standar perancis. Nilai kalor biopellet memenuhi standar Jerman dan Perancis.

Kata Kunci: Biopellet, Kadar air, Kerapatan, Kadar Abu, Nilai Kalor

1. Pendahuluan

Pertumbuhan populasi penduduk menyebabkan terjadinya peningkatan kebutuhan energi. Selama ini kebutuhan energi dipenuhi dari bahan bakar fosil yang menyebabkan meningkatnya emisi karbondioksida (CO₂) dan menyebabkan masalah lingkungan utamanya pencemaran udara. Permintaan energi yang meningkat, tingginya biaya eksplorasi, meningkatnya harga minyak dunia dan sulitnya mencari sumber cadangan minyak mengharuskan pemerintah setiap negara untuk segera memproduksi energi alternatif yang terbarukan dan ramah lingkungan.

Penggunaan energi berbasis biomassa merupakan sebagai energi alternatif yang semakin meningkat terjadinya belakangan ini. Hal ini disebabkan karena energi ini tidak menimbulkan peningkatan gas rumah kaca dan emisi CO₂ (Demirbas 2004; Lehmann *et al.* 2012) serta berfungsi sebagai karbon netral (Gil *et al.* 2010). Sumber energi alternatif yang banyak dikembangkan saat ini adalah pelet kayu sebagai energi biomassa yang diharapkan dapat menggantikan sumber bahan bakar minyak dan gas bumi. Penggunaan bahan bakar kayu secara akan menyebabkan eksploitasi hutan yang dapat menyebabkan degradasi hutan. Oleh sebab itu, perlu adanya upaya untuk mencari bahan bakar alternatif yang lebih murah dan tersedia dengan mudah, serta ramah lingkungan.

Pellet kayu dijadikan bahan bakar alternatif di sebagian besar Negara Uni Eropa dan Amerika karena terjadi krisis minyak dunia. Pelet kayu merupakan produk yang dibuat dari bahan biomassa tanaman yang kemudian mengalami proses pengempaan. Pelet kayu merupakan solusi alternatif pengganti minyak karena memiliki harga yang cukup terjangkau oleh masyarakat Uni Eropa dan Amerika. Tingginya permintaan pelet kayu terkait adanya kebijakan dari negara-negara di dunia untuk mengurangi efek pemanasan global dan pemanfaatan energi alternatif (Leaver, 2008 dalam Winata, 2013).

Banyak energi biomassa bisa dimanfaatkan selain kayu yang ketersediaannya melimpah, mudah diperoleh, dan dapat diperbaharui secara cepat. Biomassa adalah bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintesis, biomassa untuk bahan energi dapat memanfaatkan bahan yang nilai ekonomisnya rendah atau limbah setelah diambil produk primernya (Nugraha, 2014). Indonesia memiliki potensi energi biomassa sebesar 50.000 MW yang bersumber dari berbagai biomassa limbah pertanian, seperti: produk samping kelapa sawit, penggilingan padi, *plywood*, pabrik gula, kakao, dan limbah pertanian lainnya (Prihandana dan Hendroko 2007). Baru sekitar 320 MW yang sudah dimanfaatkan atau hanya 0,64% dari seluruh potensi yang ada (Arif *et al.*, 2012). Hal ini berarti bahwa biomassa merupakan sumber energi yang belum dimanfaatkan secara maksimal.

Salah satu jenis biomassa tumbuhan yang potensial untuk dimanfaatkan selain kayu adalah daun. Salah satu jenis daun yang potensial untuk dijadikan sebagai bahan baku biopellet adalah daun cengkeh yang banyak tersedia di Kabupaten Luwu dan sekitarnya. Daun cengkeh dimanfaatkan sebagai sumber minyak atsiri dan daun yang disuling umumnya adalah daun yang telah gugur, karena selain nilai ekonominya rendah juga tidak merusak tanaman pokoknya. Limbah penyulingan daun cengkeh berupa ampas umumnya tidak dimanfaatkan, sehingga untuk memanfaatkan dan

memberi nilai tambah pada limbah ampas penyulingan tersebut, salah satu kegiatan pemanfaatan adalah dibuat menjadi energi terbarukan.

Pemanfaatan biomassa sebagai energi terbarukan dapat berupa briket arang maupun biopellet. Namun demikian, proses pembuatan briket arang lebih lama dan membutuhkan alat dan bahan yang lebih banyak dibandingkan dengan biopellet. Oleh sebab itu, dalam rangka pemanfaatan limbah penyulingan daun cengkeh sebagai bahan energi terbarukan maka perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui karakteristik biopellet yang dihasilkan dari ampas penyulingan daun cengkeh berdasarkan standar pellet dari Australia dan Jerman.

1. Metode Penelitian

1.1 Prosedur Kerja

2.1.1 Perlakuan Bahan Baku

Bahan baku ampas penyulingan daun cengkeh yang digunakan sebagai sampel dikeringkan terlebih dahulu dengan kadar air 15% sampai 30 % sehingga dapat digiling menjadi serbuk dengan menggunakan *hammer mill* kemudian diayak dan dikering udarakan. Serbuk disaring menggunakan saringan yang berukuran 22 dan 40 mesh. Serbuk yang digunakan sebagai sampel adalah yang lolos saringan 22 mesh dan tertahan pada saringan 40 mesh.

2.1.2 Cara pembuatan biopellet

Langkah pembuatan biopellet sebagai berikut:

- a. Serbuk daun cengkeh dicampur dengan molases yang berfungsi sebagai perekat dengan komposisi serbuk : molases 80:20 (b/b) kemudian dicetak dalam mesin pellet dengan kapasitas
- b. Pellet yang dihasilkan kemudian dianalisis karakteristiknya dan diuji kualitasnya berdasarkan standar dari beberapa negara sebagai mana yang telah ditentukan dalam tabel 1.

2.2 Variabel Pengamatan

2.2.1 Kadar Air (*Mosture content*)

Penetapan nilai kadar air dilakukan dengan satu gram sampel diletakkan pada cawan porselen yang sudah diketahui beratnya. Kemudian dikeringkan dalam oven suhu 105°C - 110°C selama 24 jam sampai kadar air konstan. Kemudian didinginkan dalam desikator sampai kondisi stabil dan ditimbang. Kadar air sampel dihitung dengan rumus :

$$\text{Kadar air} = \frac{Ba - Bkt}{Ba} \times 100\%$$

Keterangan :

Ba = Berat sebelum dikeringkan dalam oven (g)

Bkt= Berat setelah dikeringkan dalam oven (g)

2.2.2 Kerapatan

Penetapan kerapatan dinyatakan dalam hasil perbandingan antara berat dan volume biopellet. Kerapatan sampel dihitung dengan menggunakan

rumus :

$$\text{Kerapatan} = \frac{M}{V}$$

Keterangan :

M= Massa (g)

V= Volume benda yang diteliti (m³)

2.2.3 Kadar Abu (*Ash Content*)

Penetapan nilai kadar abu dilakukan dengan satu gram sampel diletakkan pada cawan porselen yang sudah diketahui beratnya. Kemudian dimasukkan ke dalam cawan dan diukur beratnya. Setelah itu sampel dimasukkan ke dalam furnace pada suhu 800-900°C selama 6 jam dan selanjutnya didinginkan dalam desikator selama 45 menit, lalu ditimbang sampai berat tetap. Kadar abu sampel dihitung dengan menggunakan rumus :

$$\text{Kadar abu} = \frac{X - X_1}{X_2} \times 100 \%$$

Keterangan;

X = berat sampel sebelum diabukan (g)

X₁ = berat sampel ditambah cawan setelah diabukan (g)

X₂ = berat cawan kosong (g)

2.2.4 Nilai Kalor

Pengukuran nilai kalor dilakukan dengan menggunakan alat *perioxide bomb calorimeter* digital, dengan proses sebagai berikut:

- Mengukur berat biopellet sebagai berat sampel (w).
- Memasang kawat yang telah dihubungkan dengan elektroda pada sampel.
- Memasukkan rangkaian ini dalam selinder bom yang sebelumnya diisi dengan aquades sebanyak 5 ml.
- Memasukkan oksigen murni ke dalam selinder bom sampai tekanannya mencapai 30 - 35 atmosfer.
- Memasukkan selinder bom ke dalam panci selinder yang telah diisi 2 liter aquades, kemudian masukkan panci selinder kedalam mantel selinder serta memasang elektroda-elaktrodanya.
- Memasang penutup mantel silinder sedemikian rupa, sehingga pengaduk bisa berputar bebas dalam panci silinder yang berisi air.
- Menginput data yang diperlukan seperti kode sampel, berat sampel dan berat panci dan nomor panci.

2.2.5 Waktu Penyalaan Dan Lama Pembakaran

2.2.5.1 Uji nyala

- Sampel disiapkan dan sampel ditusuk dengan jarum pentul.
- Ujung sampel dibakar dan stop watch di on-kan secara bersamaan.
- Waktu pengukuran berlangsung hingga sampel menyala

2.2.5.2 Uji bakar

- Waktu split diaktifkan pada saat sampel mulai menyala.
- Waktu pengukuran berlangsung hingga sampel habis terbakar.

2.3 Rancangan percobaan

Perlakuan dalam penelitian ini adalah perbedaan suhu dalam pembuatan biopellet dengan empat perlakuan yaitu 90°C, 110°C, 130°C dan kontrol tanpa perlakuan suhu. Model rancangan percobaan yang digunakan adalah rancangan acak lengkap dengan tiga kali ulangan. Model matematisnya adalah sebagai berikut:

$$Y_{ij} = \mu + c_i + \epsilon_{ij}$$

Keterangan :

Y_{ij} = Nilai pengamatan pada perlakuan ke- i dan ulangan ke- j

μ = Nilai rata- rata ulangan

c_i = Pengaruh perlakuan ke- i dan ulangan ke- j

ϵ_{ij} = Kesalahan percobaan pada perlakuan ke- i dan ulangan ke- j

Jika hasil analisis ragam menunjukkan perlakuan berpengaruh nyata atau sangat nyata, maka dilakukan uji lanjut dengan menggunakan uji Duncan sebagai berikut:

$$S_Y = (S^2/r)^{1/2} = (KTG/r)^{1/2}$$

Keteranagn:

S_Y = simpangan baku nilai tengah

S^2 = nilai kuadrat tengah galat (KTG)

r = jumlah ulangan

KTG = Kuadrat tengah galat

2. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengamatan dan perhitungan kadar air, kerapatan, kadar abu, nilai kalor, lama penyalaan dal lama pembakaran dari biopellet limbah penyulinan daun cengkeh dan dibandingkan dengan stantar yang ada di Australia, Jerman, Swedia dan Prancis dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 1. Kualitas Biopellet Berbahan Baku Limbah Penyulinan Daun Cengkeh.

Karakteristik/Unit	Perlakuan			Rata-rata	Standar			
	1	2	3		Australia	Jerman	Swedia	Prancis
Diameter (Mm)	6,77	6,55	6,83	6,717	4 – 10	4 – 10	6.35 - 7.94	6 – 16
Panjang (Mm)	31,22	30,21	31,85	31,093	5 x d	<50	<3.81	10/1
Densitas (kg/dm ³)	0,55	0,65	0,58	0,6	>1.2	1.0-1.4	>0.6	>1.15
Kadar air (%)	9,8	8,3	6,7	8.26	<10	<12	<10	≤15
Kadar abu (%)	3,9	5	3,3	4,06	<0.50	<1.50	<0.7	≤6
Nilai kalor (MJ/kg)	17,52	17,47	17,53	17,50	>18	17.5-19.5	>19.08	>16.9
Penyalaan (detik)	40	39	40	3,9	-	-	-	-
Pembakaran (g/menit)	0,17	0,18	0,18	0,177	-	-	-	-

Keterangan :

- tidak ada standar

2.1 Kadar Air

Tabel 2. Persentasi kadar air

Perlakuan	Persentase Kadar air (%)	Standar kadar air (%)			
		Australia	Jerman	Swedia	Prancis
Sampel 1	9,8	<10	<12	<10	≤15
Sampel 2	8,3				
Sampel 3	6,7				
Rata-rata	8.26				

Kadar air adalah rasio kandungan air dalam bahan yang hilang selama proses pengeringan dibanding dengan berat bahan awal. Kadar air merupakan salah satu parameter penentu kualitas biopellet yang berpengaruh pada nilai kalor pembakaran, kemudahan menyala, daya pembakaran, dan jumlah asap yang dihasilkan selama pembakaran (Rahman 2011). Kadar air biopellet yang semakin tinggi menyebabkan nilai kalor pembakaran biopellet semakin rendah dan asap yang dihasilkan semakin banyak. Sehingga efisiensi pembakaran biopellet akan menurun dan saat proses penyalaan akan semakin sulit karena api terlebih dahulu menguapkan air (Hansen *et al.* 2009).

Menurut Rahman (2011) kadar air pelet selain dipengaruhi oleh kadar air bahan baku juga dipengaruhi oleh besarnya tekanan mesin dan suhu pada proses densifikasi. Tekanan yang tinggi menyebabkan pelet yang terbentuk semakin padat, halus, dan seragam, sehingga partikel biomassa dapat saling mengisi pori-pori yang kosong dan menurunkan molekul air yang dapat menempati pori-pori tersebut. Kadar air merupakan salah satu parameter yang menentukan kualitas pelet yang berpengaruh terhadap nilai kalor pembakaran, kemudahan menyala, daya pembakaran, dan jumlah asap yang dihasilkan selama pembakaran. Tingginya kadar air pelet dapat menurunkan nilai kalor pembakaran, menyebabkan proses penyalaan menjadi lebih sulit, dan menghasilkan banyak asap pada proses pembakaran (Hansen *et al.* 2009). Kadar air pelet yang dihasilkan dalam penelitian ini telah memenuhi standar yang berlaku di berbagai negara seperti terlihat pada Table 2.

2.2 Kerapatan

Tabel 3. Uji kerapatan biopellet

Perlakuan	Kerapatan (kg/dm ³)	Standar kerapatan (kg/dm ³)			
		Australia	Jerman	Swedia	Prancis
Sampel 1	0,55	>1.2	1.0-1.4	>0.6	>1.15
Sampel 2	0,65				
Sampel 3	0,58				
Rata-rata	0,6				

Kerapatan merupakan perbandingan antara massa dan volume pada biopellet (Saputro *et al.* 2012). Demirbas (1999) menambahkan bahwa kerapatan ditentukan oleh tekanan yang digunakan pada proses densifikasi. Kerapatan biopellet yang semakin tinggi dapat mempermudah proses penanganan, penyimpanan, dan transportasi (Adapa *et al.* 2009). Nilai kerapatan biopellet pada penelitian ini disajikan pada tabel 3.

Perhitungan kerapatan menunjukan sedikit mendekati pada standar swenia yang terlihat pada tabel 3 bahwa rata-rata kerapatan biopellet mendekati 0,6 %.

2.3 Kadar Abu

Tabel 4. Persetase kadar abu biopellet

Perlakuan	Persentase Kadar abu (%)	Standar kadar abu (%)			
		Australia	Jerman	Swedia	Prancis
Sampel 1	3,9	<0.50	<1.50	<0.7	≤6
Sampel 2	5				
Sampel 3	3,3				
Rata-rata	4,06				

Kadar abu merupakan bahan sisa proses pembakaran yang tidak memiliki unsur karbon atau nilai kalor (Nugrahaeni 2008). Komponen utama abu dalam biomassa berupa kalsium, potassium, magnesium, dan silika (Ragland dan Aerts 1991). Kadar abu yang tinggi beresiko terbentuknya endapan atau kerak mineral pada saat pembakaran, sehingga mengakibatkan permukaan tungku kotor, korosi, dan konduktifitas termal serta kualitas pembakaran menurun. Kadar abu yang semakin rendah akan menghasilkan biopellet yang semakin baik (Prasetyo 2004). Nilai kadar abu biopellet pada penelitian ini disajikan pada tabel 4. Kadar abu biopellet yang diperoleh pada penelitian ini berkisar antara 4.0% yang memenuhi pada standar prancis.

2.4 Nilai kalor

Tabel 5. Hasil pengujian nilai kalor biopellet

Perlakuan	Nilai kalor (Mj/kg)	Standar nilai kalor (MJ/kg)			
		Australia	Jerman	Swedia	Prancis
Sampel 1	17,52	>18	17.5-19.5	>19.08	>16.9
Sampel 2	17,47				
Sampel 3	17,53				
Rata-rata	17,50				

Nilai kalor merupakan parameter penting dalam menentukan efisiensi suatu bahan bakar. Nilai kalor dipengaruhi oleh kadar air, kadar zat terbang, kadar abu, dan kadar karbon terikat (Basu 2010). Kadar air, kadar zat terbang, dan kadar abu berbanding terbalik dengan nilai kalor (Haygreen dan Bowyer 1986; Yuniarti *et al.* 2011; Fang *et al.* 2013). Sedangkan kadar karbon terikat berbanding lurus dengan nilai kalor (Saputra *et al.* 2012). Selain itu kadar lignin yang tinggi akan meningkatkan nilai kalor (White 1987). Nilai kalor biopellet pada penelitian ini disajikan pada tabel 5. Nilai Kalor biopellet yang diperoleh pada penelitian ini berkisar antara 17,50. Nilai kalor biopellet yang memiliki nilai standar pada Jerman dan prancis.

2.5 Waktu Penyalaan

Tabel 6. Uji nyala

Perlakuan	Nyala (detik)	Uji nyala			
		Australia	Jerman	Swedia	Prancis
Sampel 1	40	-	-	-	-
Sampel 2	39				
Sampel 3	40				

2.6 Laju Pembakaran

Tabel 7. Uji Bakar

Perlakuan	Laju bakar (g/menit)	Laju bakar			
		Australia	Jerman	Swedia	Prancis
Sampel 1	0,17	-	-	-	-
Sampel 2	0,18				
Sampel 3	0,18				
Rata-rata	0,177				

Tabel 6 & 7 diatas menunjukkan nilai rata-rata bahwa hasil pengujian nyala dan laju pembakaran biopellet mencapai rata-rata 3,9 detik dan laju bakar 0,177. Laju bakar disebabkan oleh tingginya densitas dari partikel kecinya permukaan dari biopellet

3. Kesimpulan

- Karakteristik biopellet yang dihasilkan dari bahan baku limbah penyulingan daun cengkeh memenuhi beberapa standar.
- Kualitas biopellet daun cengkeh sangat di pengaruhi oleh suhu pemanasan dimana suhu 130 °C menunjukkan mutu yang lebih baik.

Daftar Pustaka

- Adapa P, Tabil L, Schoenau G. 2009. Compression Characteristics of Selected Ground Agricultural Biomass. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*. Manuscript 1347. Vol. XI.
- Arif, E, L. Salaim, Ariyanto dan Fredy B. 2012. Briket Daun kering sebagai sumber energi Alternatif. *Proseeding seminar nasional tahunan teknik mesin IX & Thermoluid IV (93)*. 16-17 Oktober. UGM. Yogyakarta
- Basu P. 2010. *Biomass Gasification and Pyrolysis, Practical Design and Theory*. (US): Academic Pr.
- Demirbas A. 1999. Properties of charcoal derived from hazelnut shell and the production of briquettes using pyrolytic oil. *Energy* 24: 141 - 150.
- Demirbas A. 2004. Combustion characteristics of different biomass fuels. *Prog. Energy Combust. Sci.* 30:219-230.
- Gil MV, Oulego P, Casal MD, Pevida C, Pis JJ, Rubiera F. 2010. *Mechanical durability and combustion characteristic of pellets from biomass blends*. *Bioresour. Technol.* 101:8859-8867.
- Hansen MT, Jain AR, Hayes S, Bateman P. 2009. *English Handbook for Wood Pellet Combustion*. Intelligent Energi for Europe.
- Leaver, R. H., 2008. *Fuel Pellet Kayu dan Pasar Residential*, www.green.com (16 Februari 2013).
- Lehmann B, Schroder HW, Wollenberg R, Repke JU. 2012. Effect of miscanthus addition and different grinding processes on the quality of wood pellets. *Biomass Bioenergy* 44:150-159.
- Nugraha, E, A. 2014. *Karakteristik Pelet Campuran Tandan Kosong Kelapa Sawit (Elaeis Guineensis Jacq.) Dan Arang*. Skripsi, Departemen Hasil Hutan Fakultas Kehutanan. Institut Pertanian Bogor

- Nugrahaeni Jl. 2008. Pemanfaatan limbah tembakau (*Nicotiana tabacum* L.) untuk bahan pembuatan briket arang sebagai bahan bakar alternatif [Skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Prasetyo B. 2004. Pengaruh Jumlah Bahan Perekat dan Variasi Besar Tekanan Kempa terhadap Kualitas Briket Arang dari Sabutan Kayu Jati, Sonokeling, dan Kelapa. Yogyakarta (ID): Universitas Gajah Mada.
- Prihandana R, Hendroko R. 2007. *Energi Hijau*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Ragland KW, Aerts DJ. 1991. *Properties of Wood for Combustions Analysis*. Wisconsin (US): University of Wisconsin-Madison Pr.
- Rahman. 2011. Uji keragaan biopellet dari biomassa limbah sekam padi (*Oryza sativa* sp.) sebagai bahan bakar alternatif terbarukan [Skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Saputro DD, Hidayat W, Rusiyanto, Saptoadi H, Fauzun. 2012. Karakteristik briket dari limbah pengolahan kayu sengon dengan metode cetak panas. *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains dan Teknologi (SNAST) Periode III*; 2012. Nov 3; Yogyakarta, Indonesia. Yogyakarta (ID): ISSN. Hlm 394400.
- Winata A. 2013. *Karakteristik Biopellet Dari Campuran Serbuk Kayu Sengon Dengan Arang Sekam Padi Sebagai Bahan Bakar Alternatif Terbarukan*. Skripsi, Departemen Hasil Hutan Fakultas Kehutanan. Institut Pertanian Bogor
- Yuniarti, Theo YP, Faizal Y, Arhamsyah. 2011. Briket arang dari serbuk gergajian kayu meranti dan arang kayu galam. *J. Riset Industri Hasil Hutan* 3(2): 37-42