

MUTU BIOPELET DARI BAGAS, KULIT KACANG TANAH DAN POD KAKAO

THE QUALITIES OF BIOPELLETS FROM BAGASSE, PEANUT SHELL AND CACAO POD

Alfian Syukri Lubis^{1)*}, Muhammad Romli¹⁾, Mohamad Yani¹⁾, Gustan Pari²⁾

¹⁾Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut pertanian Bogor,
Kampus IPB Darmaga, PO Box 220, Bogor, Jawa Barat, Indonesia.
Email: alifansyukri@gmail.com

²⁾Balai Penelitian dan Pengembangan Kehutanan, Bogor, Jawa barat.

Makalah: Diterima 13 April 2015; Diperbaiki 2 Agustus 2015; Disetujui 5 September 2015

ABSTRACT

Agricultural biomass is a potential alternative energy's sources that has not been well managed. The objectives of this research were to produce biopellet from bagasse and peanut shell and to quantify the parameters quality of biopellet's formulation. This research was started with bagasse, peanut shell, and cacao pod characterisation. Furthermore is milling proses of raw material, formulation of raw material with addition material, densification process, drying, and analysis of chemical, physical, and biological quality of biopellet product. From the analytical results, the best biopellet's formula was biopellet made from peanut shell 100% with heat value of 4644 kcal/kg, biopellet from bagasse Trangkil 40% and peanut shell 60% with heat value of 4584 kcal/kg, and biopellet from industrial small bagasse 40% plus peanut shell 60% with heat value of 4539 kcal/kg.

Keywords: bagasse, biopellet, densification, peanut shell

ABSTRAK

Potensi biomassa sebagai sumber energi alternatif sangat melimpah, namun belum terkelola secara baik. Tujuan penelitian ini adalah untuk memproduksi biopelet dan mengukur kualitas parameter komposisi biopelet yang dihasilkan. Penelitian diawali dengan karakterisasi bahan baku bagas, kulit kacang tanah dan pod kakao. Selanjutnya dilakukan penggilingan bahan baku, kemudian pencampuran bahan baku serta bahan tambahan, densifikasi, pengeringan dan analisa mutu produk biopelet yang dihasilkan secara kimia, fisik dan biologi. Biopelet terbaik dari hasil analisis adalah biopelet 100% kulit kacang tanah dengan nilai kalor 4644 kkal/kg, komposisi biopelet 40% bagas Trangkil 60% kulit kacang tanah dengan nilai kalor 4584 kkal/kg dan komposisi biopelet 40% bagas industri kecil dan 60% kulit kacang tanah dengan nilai kalor 4539 kkal/kg.

Kata kunci: bagas, biopelet, densifikasi, kulit kacang tanah

PENDAHULUAN

Kebutuhan bahan bakar selama ini dominan dipenuhi oleh bahan bakar fosil dengan berbagai bentuk penggunaannya untuk mendukung aktivitas masyarakat. Persediaan bahan bakar fosil semakin berkurang sebab bahan bakar ini termasuk energi yang tidak dapat diperbaharui (*unrenewable*), namun permintaannya semakin tinggi seiring meningkatnya pertumbuhan penduduk. Sumber energi alternatif yang banyak dikembangkan saat ini adalah biomassa yang ketersediaannya melimpah, mudah diperoleh, dan bisa diperbaharui secara cepat. Indonesia memiliki potensi energi biomassa yang bersumber dari limbah pertanian seperti: produk samping kelapa sawit, penggilingan padi, *plywood*, pabrik gula, kakao, dan lainnya (Praptiningsih dan Nuriana, 2014). Biomassa merupakan sumber energi terbarukan yang sangat serbaguna dibandingkan sumber energi terbarukan lainnya. Biomassa dapat menghasilkan energi untuk panas, listrik dan transportasi. Biomassa dapat dikonversi menjadi

biopelet sehingga meningkatkan kualitas biomassa sebagai bahan bakar (Hendra, 2012).

Biopelet adalah jenis bahan bakar padat berbasis limbah biomassa dengan ukuran lebih kecil dari ukuran briket. Proses yang digunakan adalah pengempaan dengan suhu dan tekanan tinggi sehingga membentuk produk yang seragam dengan kapasitas produksi yang tinggi (Berlk *et al.*, 2012). Konversi yang dilakukan dapat memudahkan dalam penanganan, transportasi, penyimpanan, pengemasan, peningkatan daya bakar, peningkatan efisiensi bakar, keseragaman serta kerapatan energi yang lebih besar.

Limbah biomassa pertanian yang cukup berpotensi dijadikan sebagai bahan energi alternatif ialah ampas tebu. *Bagasse* atau ampas tebu merupakan limbah padat produksi gula (hasil sisa penggilingan dan pemerahan tebu di stasiun penggilingan). Pada periode tahun 2005-2010, luas areal perkebunan tebu nasional mencapai 405.600 hektar. Dari setiap hektar tanaman tebu diprediksi mampu menghasilkan *bagasse* sebanyak 100 ton dalam proses pengolahan menjadi gula sehingga

potensi ampas tebu nasional yang dihasilkan berkisar 40.560.000 ton ampas tebu (P3GI, 2012).

Limbah biomassa lain yang cukup berpotensi sebagai bahan energi alternatif adalah kulit kacang tanah. Berdasarkan data Kementerian Pertanian (2012), produktivitas kacang tanah nasional pada tahun 2008-2012 berada pada kisaran angka 691.289-770.054 ton, dan sasaran produksi kacang tanah pada tahun 2013 dan 2014 adalah masing-masing 1.200.000 ton dan 1.300.000 ton. Jika melihat potensi produktivitas kacang tanah tersebut, maka potensi limbah kulit kacang tanah sangat besar karena selama ini, hanya biji kulit kacang tanah yang dimanfaatkan. Pemanfaatan pod kakao sebagai perekat cukup baik karena kandungan ligninnya yang cukup tinggi. Pari *et al.* (2006) menyebutkan kandungan lignin bahan berlignoselulosa dapat dimanfaatkan sebagai perekat. Namun, dalam uji pendahuluan penggunaan perekat pod kakao secara kualitas sudah baik namun belum baik secara tekstur sehingga pada penelitian selanjutnya perlu dikomposisikan dengan kanji. Menurut data Deptan (2010), kuantitas limbah pod kakao yang cukup besar mencapai 7,9 juta ton pada tahun 2009-2010 sangat berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku perekat. Dari paparan potensi bagas, kulit kacang tanah dan pod kakao tersebut, dinilai cukup potensial sebagai bahan baku untuk sumber energi padat alternatif.

Tujuan dari penelitian ini adalah memproduksi biopelet dari limbah biomassa dengan penambahan perekat pod kakao dan kanji, pengukuran parameter kualitas biopelet, menentukan komposisi biopelet terbaik serta mengukur karakteristik pembakaran biopelet.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah bagas PG Trangkil Pati, bagas industri kecil daerah Kabupaten Kudus, kulit kacang tanah PT Kacang Dua Kelinci dari Pati, minyak jelantah yang telah dijernihkan yang diperoleh dari salah satu warteg di daerah Bogor, perekat yang diproduksi dari kulit (pod) buah kakao yang diperoleh dari perkebunan PT Layungsari di daerah Cicalong, Cianjur, tepung kanji, *Schizophyllum commune* Fr (jenis jamur pelapuk kayu atau bahan berlignoselulosa).

Peralatan yang digunakan meliputi : *Disk mill*, *Ring Die Pellet Mill* (mesin pencetak biopelet). Perlengkapan uji efisiensi dan sifat fisika kimia bahan baku dan biopelet, seperti: *bomb calorimeter*, oven, tanur, *Universal Testing Machine*, desikator, kompor biomassa tipe UB-03-1 (Universitas Brawijaya), panci *stainless* merek Paramcunt (d=18 cm, t=10cm, V= 3 L).

Prosedur Penelitian

Karakterisasi Bahan Baku

Bahan baku bagas PG Trangkil, bagas industri kecil dan limbah kulit kacang tanah dilakukan karakterisasi yang meliputi: kadar air, abu, zat terbang, karbon terikat dan nilai kalor (SNI 06-4369-1996). Untuk limbah pod kakao dianalisa kandungan dari lignin, hemiselulosa, selulosa, protein dan serat kasar.

Proses Penggilingan dan Densifikasi Bahan Baku Menjadi Biopelet

Bahan baku digiling menggunakan *disk mill* hingga lolos saringan 60 mesh. Proses pembuatan biopelet dimulai dengan pencampuran komposisi bahan baku dan bahan tambahan. Perekat yang digunakan adalah komposisi serbuk pod kakao dan tepung kanji masing-masing 5% dari total komposisi bahan baku. Penambahan 5 mL minyak jelantah setiap perlakuan bertujuan untuk mempermudah biopelet keluar dari lubang cetakan karena minyak jelantah berfungsi sebagai pelumas. Komposisi campuran tersebut diaduk hingga merata. Kemudian dimasukkan ke dalam mesin pencetak hingga dihasilkan biopelet.

Kinerja mesin pencetak biopelet yang digunakan tidak mengatur secara khusus tekanan dan suhu, tekanan dan suhu muncul akibat interaksi bahan baku dengan mesin saat proses densifikasi (pencetakan). Pada proses pencetakan bahan baku menjadi biopelet, perlakuan bahan baku tanpa komposisi berfungsi sebagai produk kontrol dan perlakuan campuran berguna untuk mengetahui pengaruh komposisi biomassa terhadap kualitas biopelet yang dihasilkan. Komposisi (perlakuan) pada proses densifikasi bahan baku menjadi biopelet dapat dilihat pada Tabel 1.

Pengeringan Biopelet dengan Sinar Matahari Dan Analisa Mutu Biopelet

Setelah biopelet dihasilkan, selanjutnya dilakukan pengeringan biopelet 8-12 jam dibawah sinar matahari. Kemudian dilakukan analisa mutu biopelet yang dihasilkan meliputi: kadar air, abu, zat terbang, karbon terikat dan nilai kalor (SNI 06-4369-1996), ketahanan biopelet terhadap jamur/kapang (SNI 01-7207-2006), kandungan nitrogen, sulfur dan kandungan klorin (SNI 01-2891-1992), densitas (Liliana, 2010), densitas kamba (Mani *et al.*, 2006) serta kekuatan tekan biopelet.

Karakteristik Pembakaran Biopelet (Belonio, 2005) dan (Irzaman *et al.*, 2009).

Pengujian dilakukan dengan menggunakan metode *water boiling test*. Analisa ini dilakukan pada bahan baku serta produk biopelet terbaik dan biopelet kontrol. Parameter uji yang diukur adalah lama pendidihan air sebanyak 1,5 L, laju konsumsi biopelet (FCR) dan efisiensi pembakaran.

Tabel 1. Komposisi (perlakuan) proses pencetakan biopelet

Perlakuan	Komposisi (%)		
	BIB	KKT	BIK
BIB	100		
KKT		100	
BIK			100
BIB + KKT	60	40	
BIB + KKT	50	50	
BIB + KKT	40	60	
BIK + KKT		40	60
BIK + KKT		50	50
BIK + KKT		60	40

Keterangan: BIB = Bagas PG Trangkil, KKT = kulit kacang tanah, BIK = bagas industri kecil

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Bahan Baku

Karakterisasi bahan baku diperlukan untuk mengetahui pengaruh proses pembentukan menjadi biopelet dapat memperbaiki karakteristik masing-masing bahan baku sebagai bahan bakar. Pengukuran karakteristik bahan baku dilakukan terhadap bahan baku yang belum mengalami perlakuan apapun seperti pengeringan. Nilai kadar air biopelet yang diperoleh berkisar 8,33-10,46% (bb), perbedaan kadar air masing-masing bahan baku disebabkan perbedaan jenis biomassa dengan kandungan air yang masing-masing berbeda (Bantacut *et al.*, 2013). Kadar abu penting diukur karena berpengaruh terhadap kinerja kompor saat pembakaran. Dari hasil analisa, nilai kadar abu yang diperoleh berkisar antara 6,24-7,05%. Kandungan abu yang berbeda diduga disebabkan perbedaan nilai kandungan mineral anorganik masing-masing bahan baku (Liliana, 2010).

Kadar zat terbang dapat menurunkan kualitas bahan baku karena dapat menimbulkan banyak asap pada saat proses pembakaran (Liliana, 2010). Dari data pada Tabel 2 nilai zat terbang yang diperoleh berkisar antara 31,67-50,81%. Perbedaan nilai kadar zat terbang disebabkan perbedaan kandungan organik dan anorganik masing-masing bahan baku. Pada saat pemanasan, zat organik dan anorganik akan terlepas dari bahan sebagai zat terbang (Hendra, 2012).

Kadar karbon terikat pada suatu bahan menjadi penting untuk dihitung karena mempengaruhi nilai kalor. Dari hasil perhitungan nilai karbon terikat masing-masing bahan dapat dilihat pada Tabel 2. Nilai kadar karbon terikat yang berbeda dari masing-masing bahan disebabkan perbedaan nilai kadar air, abu dan zat terbang masing-masing bahan. Pengukuran karbon terikat menunjukkan Jumlah material padat yang dapat terbakar setelah komponen zat terbang dihilangkan dari bahan tersebut (Speight, 2005).

Nilai kalor yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 2. Hasil nilai kalor bahan baku ini berbanding sejalan dengan hasil nilai karbon terikat masing-masing bahan. Semakin tinggi kadar karbon terikat bahan, akan semakin tinggi nilai kalor yang

dihasilkan. Nilai kalor tidak hanya ditentukan oleh kadar karbon terikat, nilai kadar air, abu dan zat terbang juga mempengaruhi nilai kalor (Liliana, 2010).

Dari hasil pengukuran lignin pod kakao, hasil lignin yang diperoleh sebesar 17,48% dan kadar air 14,76% (bk). Kedua parameter ini penting diketahui karena mempengaruhi kerekatan biopelet pada saat terjadinya proses densifikasi. (Pari *et al.*, 2006) menyebutkan bahwa kandungan lignin dalam tanaman berlignoselulosa bisa dimanfaatkan sebagai bahan perekat dengan proses tertentu baik secara fisik maupun proses kimia. Selain kadar lignin dan air, beberapa parameter lainnya juga diukur seperti selulosa 22,12%, hemiselulosa 3,41%, protein 9,18%, serat kasar 41,42%, NDF 42,93% dan ADF 39,52%.

Biopelet 100% Bahan Baku

Kadar Air, Abu, Zat Terbang, Karbon Terikat dan Nilai Kalor

Dari hasil analisa kadar air biopelet, diperoleh hasil kadar air berkisar antara 3,42-4,2%. Tinggi rendahnya kadar air yang diperoleh dipengaruhi oleh proses densifikasi yang mampu meminimalisir kandungan air karena pada saat densifikasi muncul panas yang mempengaruhi kadar air bahan baku. Hasil kadar abu biopelet yang diperoleh berkisar antara 6,77-7,3%. Penurunan Jumlah abu yang dihasilkan juga dipengaruhi oleh proses densifikasi. Panas yang muncul saat densifikasi mampu mengurangi kandungan abu biopelet karena kandungan mineral anorganik pemicu abu sebagian menguap saat densifikasi (Liliana, 2010).

Nilai kadar zat terbang dapat dilihat pada Tabel 2. Proses densifikasi mempengaruhi kandungan zat menguap suatu bahan, kandungan organik non karbon pada bahan juga menguap saat muncul panas ketika proses pencetakan biopelet (Bantacut *et al.*, 2013). Hasil analisa kadar karbon terikat biopelet dapat dilihat pada Tabel 3. Kadar karbon terikat yang didapatkan berbanding lurus dengan hasil kadar air, abu dan zat terbang, semakin rendah kadar air, abu dan zat terbang maka karbon terikat akan semakin tinggi (Liliana, 2010).

Tabel 2. Hasil karakterisasi bagas Trangkil, kulit kacang tanah dan bagas industri kecil

Parameter Uji	Satuan	Bagas Trangkil	Kulit kacang tanah	Bagas industri kecil
Kadar air	%bb	8,33 ± 0,01	10,46 ± 0,02	9,6 ± 0,1
Kadar abu	%bk	6,8 ± 0,1	6,24 ± 0,06	7,05 ± 0,05
Zat terbang	%bk	42,55 ± 0,09	31,7 ± 0,1	50,8 ± 0,1
Karbon terikat	%bk	50,61 ± 0,03	62,09 ± 0,04	43,76 ± 0,07
Nilai Kalor	kkal/kg	4170 ± 14	4230 ± 20	4050 ± 20
Lignin	%	13,3 ± 0,1	30,1 ± 0,2	15,3 ± 0,1
Selulosa	%	20,5 ± 0,2	27,2 ± 0,2	24,6 ± 0,2
Hemiselulosa	%	22,1 ± 0,3	29,4 ± 0,3	29,4 ± 0,1
Nitrogen	%	0,5 ± 0,4	1,5 ± 0,5	0,6 ± 0,4
Sulfur	%	0,39 ± 0,08	0,38 ± 0,08	0,42 ± 0,08
Klorin	%	1,5 ± 0,3	1,6 ± 0,3	2,1 ± 0,3

Nilai kalor yang diperoleh terlihat pada Tabel 3. Nilai kalor dipengaruhi oleh kandungan karbon terikat. Semakin tinggi kandungan karbon terikat maka nilai kalor akan semakin tinggi. Karbon terikat dipengaruhi oleh banyaknya senyawa non karbon yang telah menguap saat densifikasi (Hendra, 2012). Nilai kalor yang dihasilkan telah memenuhi standar dari biopelet beberapa negara seperti Swedia (SS 18 71 70), Jerman (DIN 51371) dan Italia (CTI-R 04/5) yang nilai kalornya berkisar 4036-4179 kkal/kg.

Karakteristik Densitas, Densitas Kamba, Tekanan Pengempaan, Pengujian Unsur Emisi dan Uji Ketahanan Biopelet Terhadap Serangan Jamur

Nilai densitas biopelet pada penelitian ini dipengaruhi tekanan dan gesekan yang dihasilkan oleh mesin pencetak dengan bahan baku. Semakin tinggi tekanan yang dihasilkan maka semakin meningkat nilai densitas biopelet. Namun dalam penelitian ini, tidak ditentukan besarnya tekanan karena mesin pencetak biopelet tidak memiliki sistem yang mengatur besaran tekanan maupun suhu. Selain itu, menurut Hendra (2012), tinggi rendahnya densitas juga dipengaruhi oleh berat jenis bahan baku. Semakin tinggi berat jenis bahan baku maka akan semakin tinggi nilai densitas. Nilai densitas biopelet dapat dilihat pada Tabel 4.

Semakin tinggi nilai tekanan pengempaan biopelet, maka semakin baik pula daya tahan biopelet pada saat transportasi. Hasil pengukuran tekanan pengempaan biopelet dapat dilihat pada Tabel 4. Tekanan pengempaan tertinggi dihasilkan biopelet kulit kacang tanah. Hal ini dipengaruhi kandungan lignin kulit kacang tanah yang lebih tinggi dibandingkan kandungan lignin bahan baku lainnya. Pada dasarnya nilai tekanan pengempaan sangat dipengaruhi oleh faktor tekanan akan tetapi karena besaran tekanan tidak bisa diatur pada mesin pencetak, maka kandungan lignin juga mampu mempengaruhi nilai tekanan pengempaan yang dihasilkan. Lignin dalam bahan berlignoselulosa dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku perekat alami pengganti perekat sintesis (Chen dan Kuo, 2010). Keberadaan perekat pada biopelet mampu

menjadikan biopelet menjadi lebih kuat dan memiliki kerapatan yang baik.

Hasil analisa nilai densitas kamba diperoleh dapat dilihat pada Tabel 4. Pada umumnya densitas kamba dipengaruhi oleh berat jenis bahan baku dan densitas biopelet. Namun adakalanya hasil yang didapatkan tidak dipengaruhi oleh nilai densitas maupun ukuran partikel dari bahan baku. Hasil yang diperoleh bisa dipengaruhi oleh proses densifikasi yang menghasilkan nilai densitas kamba yang berbeda (Liliana, 2010).

Jenis biomassa memberikan pengaruh terhadap kadar N, S dan Cl masing-masing biopelet (Erna, 2013). Hal ini disebabkan masing-masing bahan baku memiliki nilai kadar N, S dan Cl yang masing-masing berbeda. Hasil analisa kadar N, S dan Cl biopelet dapat dilihat pada Tabel 4. Tingginya kadar N biopelet kulit kacang tanah disebabkan kadar N bahan baku kulit kacang tanah lebih tinggi dibandingkan kadar N bagas. Begitu juga dengan kadar S dan Cl tertinggi yang dihasilkan oleh biopelet bagas industri kecil disebabkan kandungan S dan Cl bahan baku bagas industri kecil lebih tinggi dibandingkan kulit kacang tanah dan bagas Trangkil.

Hasil penurunan bobot biopelet yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 4. Dari hasil yang diperoleh, biopelet 100% kulit kacang tanah mengalami penurunan bobot biopelet terbesar. Hal ini dipengaruhi bahan baku kulit kacang tanah yang memiliki kadar air, lignin, selulosa dan hemiselulosa yang paling tinggi diantara semua bahan. *S. Commune* Fr mampu merusak selulosa dan lignin penyusun biopelet dengan cara menguraikan biopelet melalui proses enzimatik dari bentuk yang kompleks menjadi lebih sederhana. Kandungan air yang tersisa setelah proses densifikasi merupakan salah satu faktor yang menyebabkan *S. Commune* Fr mampu berkembang biak dan meyerang biopelet. Hal ini menyebabkan bobot biopelet menurun dari bobot awalnya (Herliyana *et al.*, 2011). Dari hasil yang diperoleh, semua biopelet yang dihasilkan berada pada kelompok kelas agak tahan (SNI 01-7207-2006).

Tabel 3. Hasil analisa kadar air, abu, zat terbang, karbon terikat dan kalor biopelet 100% bahan baku

Jenis biopelet	Kadar air (%)	Kadar abu (%)	Zat terbang (%)	Karbon terikat (%)	Kalor (kkal/kg)
BIB 100%	3,42	6,94	31,64	61,42	4476
KKT 100%	4,2	6,77	30,10	62,60	4644
BIK 100%	3,65	7,30	32,37	60,85	4272
Standar Prancis (ITEBE)	Maks 15	Maks 6			
Standar USA (PFI)			Maks 28	Min 60	
Swedia (SS 18 71 70)					Min 4036

Tabel 4. Hasil analisa densitas, densitas kamba, tekanan pengempaan, N, S dan CI biopelet 100% bahan baku

Jenis biopelet	Densitas (g/cm ³)	Densitas Kamba (kg/m ³)	Tekanan pengempaan (kg/cm ²)	N (%)	S (%)	CI (%)
BIB	1,09	687,51	12,37	0,34	0,24	1,36
KKT	1,01	695,44	13,62	1,23	0,23	1,53
BIK	1,01	682,30	12,68	0,48	0,26	1,98
USA (PFI)	Min 0,64					
Swedia (SS 18 71 70)		Min 600				
Prancis (ITEBE)				Maks 0,5	Maks 0,1	Maks 0,07

Biopelet Komposisi Bagas Trangkil dan Kulit Kacang Tanah

Kadar Air, Abu, Zat Terbang dan Karbon Terikat

Hasil kadar air biopelet yang diperoleh berkisar antara 3,60-3,89%. Semakin besar penambahan rasio kulit kacang tanah akan menaikkan nilai kadar air biopelet. Kandungan air tertinggi dihasilkan biopelet dengan komposisi 40% bagas Trangkil dan 60% kulit kacang tanah. Hal ini disebabkan penambahan bahan baku kulit kacang tanah dengan kadar air yang lebih tinggi dari bagas Trangkil menaikkan kadar air biopelet.

Hasil kadar abu yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 2. Peningkatan rasio kulit kacang berbanding terbalik dengan hasil abu yang didapatkan. Seharusnya peningkatan konsentrasi kulit kacang tanah menurunkan kandungan abu, namun hasil analisis menyatakan berbeda. Hal ini diduga dipengaruhi oleh bahan lain seperti minyak jelantah dan perekat pod kakao yang ditambahkan. Pod kakao diketahui memiliki kandungan abu yang cukup tinggi sebesar 14,61% (Moran, 2005).

Hasil analisa kadar zat terbang biopelet dapat dilihat pada Tabel 5. Peningkatan rasio kulit kacang menurunkan kadar zat terbang. Penurunan kadar zat terbang umumnya disebabkan proses densifikasi. Jika melihat komposisi bahan baku, penurunan kadar zat terbang juga dipengaruhi peningkatan penambahan rasio kulit kacang tanah. Kadar zat terbang kulit kacang tanah lebih rendah dibandingkan bagas Trangkil. Diketahui kadar zat terbang kulit kacang tanah sebesar 31,67%, sementara kadar zat terbang bagas Trangkil sebesar 42,55% (Tabel 2).

Hasil karbon terikat yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 5. Tingginya karbon terikat biopelet dipengaruhi oleh peningkatan rasio kulit kacang tanah pada komposisi biopelet yang

menyebabkan peningkatan nilai kadar karbon terikat. Dari hasil karakterisasi bahan baku, kadar karbon terikat kulit kacang tanah yang diperoleh lebih besar dibandingkan kadar karbon terikat bagas Trangkil (Tabel 2).

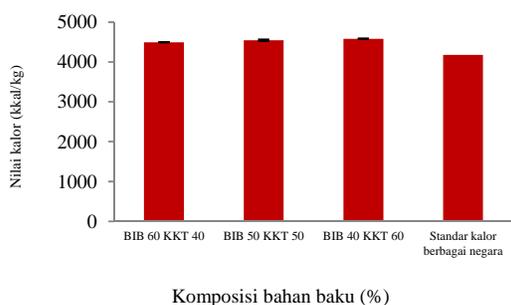
Karakteristik Densitas, Nilai Kalor, Densitas Kamba, Tekanan Pengempaan, Pengujian Unsur Emisi dan Uji Ketahanan Biopelet Terhadap Serangan Jamur

Nilai kalor biopelet yang diperoleh berkisar antara 4495-4584 kkal/kg. Nilai kalor tertinggi diperoleh biopelet penambahan rasio kulit kacang tanah 60%. Semakin tinggi penambahan rasio kulit kacang tanah akan menaikkan nilai kalor biopelet. Nilai kalor dipengaruhi oleh tingginya nilai kadar karbon terikat dan rendahnya nilai kadar air, abu dan zat terbang biopelet (Liliana, 2010). Dari data pada Tabel 5, diketahui bahwa kadar karbon terikat biopelet dengan penambahan rasio kulit kacang tanah 60% lebih tinggi dan kadar zat terbang lebih rendah.

Nilai densitas biopelet yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 5. Selain faktor bahan baku, hal lain yang mempengaruhi adalah tekanan, gesekan, suhu serta proses densifikasi yang terjadi antara bahan baku dengan mesin pencetak. Semakin tinggi tekanan yang diterima pada proses pencetakan semakin meningkatkan nilai densitas dari biopelet. Sehingga terkadang nilai densitas yang diperoleh bisa tidak seragam karena tergantung dari tekanan, gesekan serta suhu yang diterima pada saat proses densifikasi. Tekanan dan suhu tidak dapat diatur pada saat pencetakan.

Tabel 5. Hasil analisa mutu biopelet komposisi bagas Trangkil dan kulit kacang tanah

Parameter Mutu Biopelet	BIB 60 + KKT 40 (%)	BIB 50 + KKT 50 (%)	BIB 40 + KKT 60 (%)	Prancis (ITEBE)	USA (PFI)	Swedia (SS 18 71 70)
Air (%)	3,6	3,75	3,89	Maks 15		
Abu (%)	6,11	6,14	6,19	Maks 6		
Zat terbang (%)	34,98	34,49	33,72		Min 30	
Karbon terikat (%)	58,88	59,32	60,14		Min 60	
Densitas (g/cm ³)	1,02	1,03	1,01		Min 0,64	
Densitas kamba (kg/m ³)	726,4	726,6	728,9			Min 600
Tekanan pengempaan (kg/cm ²)	12,82	12,92	13,13		Min 12,7	
Nitrogen (%)	0,75	0,83	0,87	Maks 0,5		
Sulfur (%)	0,18	0,22	0,23	Maks 0,1		
Klorin (%)	2,05	2,09	2,14	Maks 0,07		
Penurunan bobot (%)	7,02	7,2	7,29			



Gambar 1. Nilai kalor komposisi biopelet bagas Trangkil dan kulit kacang tanah

Nilai densitas kamba yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 5. Peningkatan penambahan rasio kulit kacang tanah meningkatkan nilai densitas kamba yang diperoleh. Proses densifikasi bahan baku menjadi biopelet dapat meningkatkan nilai densitas kamba. Kandungan lignin yang berfungsi sebagai perekat pada saat densifikasi menyebabkan biopelet memiliki kerapatan yang lebih tinggi, dengan kerapatan yang lebih tinggi ini menyebabkan biopelet dapat mengisi ruang sebuah wadah lebih banyak karena partikel-partikel penyusun biopelet lebih padat dan rapat (Liliana, 2010). Diketahui kandungan lignin kulit kacang tanah lebih tinggi dibandingkan bagas Trangkil (Tabel 2).

Hasil analisa tekanan pengempaan biopelet menghasilkan nilai berkisar antara 12,82-13,13 kg/cm². Peningkatan rasio kulit kacang tanah pada setiap perlakuan menaikkan nilai tekanan pengempaan. Selain tekanan yang muncul saat densifikasi dari mesin pencetak, hal lain yang mempengaruhi ialah kandungan lignin dan selulosa yang tinggi pada kulit kacang dibandingkan bagas Trangkil. Sehingga rasio penambahan kulit kacang tanah 60% menghasilkan nilai tekanan pengempaan yang lebih tinggi dibandingkan perlakuan lainnya. Lignin berperan sebagai perekat ketika proses densifikasi (Pari *et al.*, 2006).

Hasil analisa kadar N yang diperoleh berkisar antara 0,75-0,87%. Hasil analisa kadar S

yang diperoleh berkisar antara 0,18-0,23%. Hasil analisa kadar Cl yang diperoleh berkisar antara 2,05-2,14%. Peningkatan rasio kulit kacang tanah pada komposisi bahan baku biopelet menaikkan nilai kadar N, S dan Cl biopelet yang dihasilkan. Kenaikan nilai ini disebabkan kandungan N, S dan Cl bahan baku kulit kacang tanah lebih besar dibandingkan bagas Trangkil. Penambahan kadar N, S dan Cl bahan yang lebih tinggi, akan menaikkan kadar N, S dan Cl biopelet yang dihasilkan.

Nilai penurunan bobot biopelet dapat dilihat pada Tabel 5. Penambahan rasio kulit kacang tanah yang semakin meningkat menyebabkan peningkatan nilai penurunan bobot biopelet yang dihasilkan. Hal ini disebabkan kandungan lignin, selulosa dan hemiselulosa dari kulit kacang lebih tinggi dari bagas Trangkil. Biopelet dengan kadar lignin dan selulosa yang cukup tinggi akan lebih mudah diserang oleh *S. commune* Fr. Kemampuan dari *S. commune* Fr merusak selulosa dan lignin menjadikan biopelet dengan komposisi kulit kacang tanah yang lebih tinggi memiliki nilai penurunan bobot yang paling tinggi (Herliyana *et al.*, 2011). Dari hasil yang diperoleh, semua biopelet yang dihasilkan berada pada kelompok kelas agak tahan sesuai standar (SNI 01-7207-2006).

Komposisi Biopelet Bagas Industri Kecil dan Kulit Kacang Tanah

Kadar Air, Abu, Zat Terbang dan Karbon Terikat

Hasil analisa kadar air yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 6. Idealnya, peningkatan penambahan rasio kulit kacang tanah akan menaikkan kadar air biopelet, namun dari hasil yang diperoleh menyatakan berbeda. Hal ini diduga dipengaruhi oleh tinggi rendahnya tekanan dan suhu yang diterima bahan oleh mesin pencetak pada saat proses densifikasi berlangsung. Tekanan yang tinggi menyebabkan biopelet yang terbentuk semakin padat, halus, dan seragam, sehingga partikel biomasa dapat saling mengisi pori-pori yang kosong dan menurunkan molekul air yang dapat menempati pori-pori tersebut (Liliana, 2010). Suhu yang dihasilkan juga mempengaruhi banyaknya air yang

terbuang saat proses pencetakan biopelet. Artinya kadar air yang diperoleh bisa bervariasi.

Dari hasil analisa kadar abu biopelet, peningkatan rasio kulit kacang tanah mampu menurunkan kadar abu yang didapatkan. Hal ini disebabkan kandungan abu kulit kacang tanah lebih rendah dari bagas industri kecil (Tabel 1). Peningkatan rasio kulit kacang tanah mampu menurunkan kadar zat terbang biopelet yang dihasilkan. Hal ini disebabkan, kadar zat terbang kulit kacang tanah lebih rendah dibandingkan bagas industri kecil. Diketahui kadar zat terbang kulit kacang tanah sebesar 31,67%, sementara kadar zat terbang bagas industri kecil sebesar 50,81%.

Nilai karbon terikat biopelet yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 6. Peningkatan penambahan rasio kulit kacang tanah pada komposisi menyebabkan peningkatan nilai kadar karbon terikatnya. Kadar karbon terikat sangat dipengaruhi oleh tinggi rendahnya nilai kadar air, abu dan zat terbang biopelet. Pada Tabel 6 dapat dijelaskan rasio kulit kacang tanah yang semakin tinggi mampu menurunkan kandungan kadar air, abu dan zat terbang. Kadar karbon terikat merupakan kandungan karbon yang terdapat pada biopelet setelah dikurangi dengan nilai kadar air, abu dan zat terbang (Hendra, 2012).

Karakteristik Densitas, Densitas Kamba, Nilai Kalor, Tekanan Pengempaan, Pengujian Unsur Emisi dan Uji Ketahanan Biopelet Terhadap Serangan Jamur

Nilai densitas yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 6. Tekanan, gesekan dan suhu serta proses densifikasi yang terjadi antara bahan baku dengan mesin pencetak sangat berpengaruh pada densitas biopelet yang dihasilkan. Semakin tinggi tekanan yang diterima pada proses pencetakan semakin meningkatkan nilai densitas dari biopelet. Nilai densitas yang diperoleh bisa tidak seragam karena beberapa faktor lain seperti ukuran partikel masing-masing bahan baku (Liliana, 2010).

Hasil analisa nilai kamba yang diperoleh disajikan pada Tabel 6. Peningkatan rasio kulit

kacang tanah menaikkan nilai densitas kamba yang diperoleh. Proses densifikasi bahan baku menjadi biopelet dapat meningkatkan nilai densitas kamba. Selain itu, faktor lain seperti berat jenis bahan, ukuran partikel dan kadar lignin juga mempengaruhi densitas kamba dari biopelet. Ukuran partikel yang semakin kecil mengakibatkan biopelet memiliki kerapatan yang baik. Kandungan lignin sebagai perekat saat densifikasi menyebabkan biopelet juga memiliki kerapatan yang baik, dengan kerapatan yang lebih tinggi ini menyebabkan biopelet dapat mengisi ruang sebuah wadah lebih banyak (Liliana, 2010).

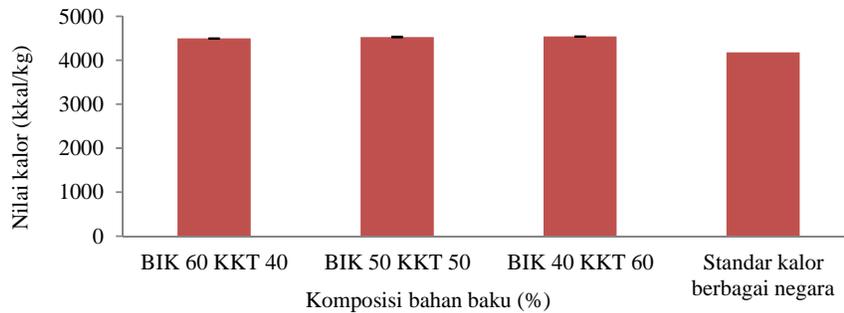
Nilai kalor biopelet yang dihasilkan berkisar antara 4494-4539 kkal/kg seperti terlihat pada Gambar 2. Nilai kalor biopelet sangat dipengaruhi oleh tinggi rendahnya kadar air, abu, zat terbang dan karbon terikat pada bahan. Dari data yang tertera pada Tabel 6, semakin tinggi penambahan rasio kulit kacang tanah mampu menurunkan kadar air, abu dan zat terbang serta menaikkan kadar karbon terikat biopelet yang menyebabkan kenaikan nilai kalor biopelet.

Hasil tekanan pengempaan yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 6. Penambahan rasio kulit kacang tanah yang semakin tinggi menaikkan nilai tekanan pengempaan biopelet yang dihasilkan. Hal ini disebabkan kandungan lignin yang tinggi pada kulit kacang tanah dibandingkan bagas industri kecil. Lignin pada kulit kacang tanah dapat berfungsi sebagai perekat pada saat pencetakan biopelet yang menyebabkan biopelet semakin padat dan memberikan nilai tekanan pengempaan yang tinggi (Pari *et al.*, 2006).

Nilai kadar N yang diperoleh berkisar antara 0,69-0,77%. Peningkatan rasio kulit kacang tanah menaikkan nilai kadar N biopelet yang dihasilkan. Kandungan N bahan baku memberikan pengaruh terhadap biopelet yang dihasilkan. Akan tetapi kandungan N akan menurun akibat proses densifikasi (Erna, 2013). Kenaikan kadar N pada setiap perlakuan disebabkan kandungan N kulit kacang tanah lebih besar dibandingkan bagas industri kecil.

Tabel 6. Hasil analisa mutu biopelet komposisi bagas industri kecil dan kulit kacang tanah

Parameter Mutu Biopelet	BIK 60 + KKT 40 (%)	BIK 50 + KKT 50 (%)	BIK 40 + KKT 60 (%)	Prancis (ITEBE)	USA (PFI)	Swedia (SS 18 71 70)
Air (%)	3,89	3,86	3,87	Maks 15		
Abu (%)	6,56	6,32	6,23	Maks 6		
Zat terbang (%)	35,37	33,42	32,28		Min 30	
Karbon terikat (%)	58,4	60,26	61,17		Min 60	
Densitas (g/cm ³)	1,02	1,01	1,02		Min 0,64	
Densitas kamba (kg/m ³)	726,19	726,19	726,33			Min 600
Tekanan pengempaan (kg/cm ²)	13,05	13,14	13,23		Min 12,7	
Nitrogen (%)	0,69	0,73	0,77	Maks 0,5		
Sulfur (%)	0,23	0,22	0,22	Maks 0,1		
Klorin (%)	2,39	2,32	2,23	Maks 0,07		
Penurunan bobot (%)	7,37	7,46	7,53			



Gambar 2. Nilai kalor biopelet komposisi bagas industri kecil dan kulit kacang tanah

Dari hasil perhitungan kadar S, diperoleh kadar S berkisar antara 0,22-0,23%. Penurunan nilai S seiring peningkatan konsentrasi kulit kacang, hal ini disebabkan oleh kandungan S kulit kacang lebih rendah dibandingkan kandungan S bagas industri kecil. Diketahui kandungan S kulit kacang tanah rata-rata 0,39% dan kadar S bagas industri kecil 0,42%. Sedangkan hasil analisa kadar Cl biopelet yang diperoleh berkisar antara 2,23-2,39%. Sama halnya dengan kadar N dan S, kadar Cl bahan baku akan mempengaruhi kadar Cl pada Biopelet.

Nilai penurunan bobot biopelet dapat dilihat pada Tabel 6. Peningkatan penambahan rasio kulit kacang memberikan peningkatan nilai penurunan bobot biopelet yang dihasilkan. Hal ini disebabkan kandungan kadar air, lignin, selulosa dan hemiselulosa dari kulit kacang tanah yang lebih tinggi dari bagas industri kecil. Semua biopelet yang dihasilkan masuk kategori kelas agak tahan (SNI 01-7207-2006).

Hasil Karakteristik Pembakaran Biopelet

Dari hasil analisa, waktu dan suhu rata-rata yang dibutuhkan untuk mendidihkan 1,5 L air dapat dilihat pada Tabel 7. Semakin tinggi suhu api yang dihasilkan maka semakin cepat waktu pendidihan air. Biopelet memiliki kerapatan dan nilai kalor lebih tinggi dibandingkan bahan bakunya sehingga memiliki temperatur pembakaran yang lebih tinggi dan tahan lama (Sulistiyanto, 2006).

Hasil laju konsumsi biopelet dapat dilihat pada Tabel 7. Laju konsumsi bahan baku yang lebih tinggi disebabkan bahan baku memiliki luas permukaan yang lebih besar dibandingkan biopelet, sehingga bahan baku memiliki kontak dengan oksigen yang lebih intensif pada saat pembakaran (Liliana, 2010). Sulistiyanto (2006) menyatakan semakin besar kerapatan bahan bakar maka laju pembakaran semakin rendah

Efisiensi pembakaran merupakan perbandingan antara energi yang dibutuhkan untuk mendidihkan 1,5 L air terhadap energi biopelet yang dibutuhkan pada saat proses pembakaran. Kualitas pembakaran semakin baik seiring dengan tingginya efisiensi pembakaran. Nilai efisiensi pembakaran dapat dilihat pada Tabel 7. Keefektifan efisiensi pembakaran pada bahan bakar sangat dipengaruhi oleh nilai kalor bahan bakar, waktu pemasakan yang dibutuhkan lebih singkat, jumlah kebutuhan nilai kalor saat pembakaran dan kebutuhan penggunaan bahan bakar yang lebih sedikit (Hasanuddin dan Lahay, 2012).

Kadar air bahan bakar padat juga mempengaruhi proses penyalan dan keefektifan pembakaran. Liliana (2010) menyebutkan tingginya kadar air bahan bakar dapat menurunkan nilai kalor pembakaran, menyebabkan proses penyalan menjadi lebih sulit, dan menghasilkan banyak asap pada proses pembakaran.

Tabel 7. Hasil karakteristik pembakaran bahan baku dan biopelet

Karakteristik pembakaran	BIB*	KKT*	BIK*	100 BIB (%)	100 KKT (%)	100 BIK (%)	40 BIB 60KKT (%)	40 BIK 60 KKT (%)	50 BIB 10 KKT 40 AKT (%)
Kadar air (%)	8,79	10,62	9,68	3,51	4,33	3,8	3,97	4,04	3,52
Lama pendidihan 1,5 L air (menit)	7,8	7,4	7,9	6,2	5,9	6,4	5,7	5,8	5,5
Massa yang terpakai (g)	140	120	145	68	60	70	65	65	60
Laju konsumsi (kg/jam)	1,08	1	1,12	0,68	0,61	0,64	0,68	0,68	0,82
Suhu api (°C)	481	509	479	608	671	546	641	629	697
HVF (kkal/kg)	4168	4230	4052	4476	4644	4272	4584	4539	5084
Qn (kkal/jam)	854	925	854	1110	1133	1009	1168	1156	1207
Efisiensi pembakaran (%)	36,8	38,8	24,6	40,5	41,6	39,4	45,55	44,9	47,8

* : Bahan baku

Nilai efisiensi terendah diperoleh bahan baku bagas industri kecil dan nilai efisiensi terendah biopelet dihasilkan oleh biopelet bagas industri kecil. Rendahnya efisiensi pembakaran bahan baku secara keseluruhan dibandingkan biopelet dipengaruhi oleh banyaknya bahan baku yang dimanfaatkan pada proses pembakaran, kadar air yang lebih tinggi dibandingkan biopelet serta jumlah kebutuhan kalori yang dibutuhkan saat pembakaran lebih sedikit. Nilai kalor, kadar air dan banyaknya massa bahan baku dan biopelet yang terpakai saat pembakaran dapat dilihat pada Tabel 7.

Pada produk biopelet, rata-rata massa biopelet yang terpakai untuk mendidihkan air 1,5 L berkisar antara 60-70 g dan lebih kecil dari bahan baku (Tabel 7). Selain itu, nilai kalor yang lebih tinggi dan kadar air yang lebih rendah menyebabkan biopelet memiliki waktu yang lebih singkat untuk mendidihkan air sehingga mempengaruhi nilai efisiensi pembakaran. Hal lain yang diduga mempengaruhi efisiensi pembakaran adalah jumlah kapasitas bahan bakar yang mampu memenuhi kompor, jumlah kalori yang digunakan saat pembakaran serta laju konsumsi biopelet saat pembakaran. Laju konsumsi biopelet saat pembakaran berkaitan dengan nilai densitas dan kamba bahan bakar (Sulistyanto, 2006). Sehingga dari hasil perbandingan, penggunaan biopelet lebih efektif dan efisien dibandingkan bahan baku tanpa perlakuan apapun pada saat pembakaran mengacu pada nilai efisiensi yang diperoleh.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Limbah bagas dan kulit kacang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan biopelet karena dapat memperbaiki kualitas bahan baku setelah adanya proses densifikasi. Biopelet terbaik dari masing-masing komposisi adalah biopelet kulit kacang tanah 100%, komposisi 40% bagas Trangkil + 60% kulit kacang tanah serta komposisi 40% bagas industri kecil + 60% kulit kacang tanah.

Nilai efisiensi pembakaran biopelet 39,44-45,55% lebih besar dari nilai efisiensi pembakaran bahan baku 24,58-38,4%. Sehingga penggunaan biopelet lebih efisien dibandingkan bahan baku tanpa perlakuan saat pembakaran.

Saran

Untuk penelitian selanjutnya perlu dilakukan sebuah teknik untuk memperbaiki beberapa parameter analisa biopelet seperti teknik karbonisasi/torefikasi. Untuk penelitian selanjutnya perlu diukur berat jenis massa bahan baku dan beberapa karakteristik bahan baku seperti densitas dan densitas kamba untuk analisa yang lebih tajam terkait nilai densitas, tekanan pengempaan dan densitas kamba serta beberapa analisa *ultimate*

bahan baku seperti kandungan C, O dan H. Perlu desain mesin pencetak biopelet yang dapat mengatur besaran tekanan dan suhu saat proses densifikasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan (PUSLITBANG) Kehutanan, Bogor, Jawa Barat atas izin waktu, kesempatan dan tempat kepada peneliti sehingga bisa menyelesaikan seluruh rangkaian riset.

DAFTAR PUSTAKA

- Bantacut T, Hendra D, dan Nurwigha R. 2013. The quality of biopellet from combination of palm shell charcoal and palm fiber. *J Tek Ind Pert.* 23 (1): 1-12.
- Belonio AT. 2005. *Rice Husk Gas Stove Handbook*. Iloilo City: Central Philippine University.
- Brlak T, Bodroza M, Solarov, Vukmirovic D, Colovic R, Vuckovic J, Levic J. 2012. Utilization of spelt wheat hull as a renewable energy source by pelleting. *Bulg. J Agric Sci.* 18: 752-758.
- Chen WH dan Kuo PC. 2010. A study of torrefaction of various biomass materials and its impact on lignocellulosic structure simulated by a thermogravimetry. *J Energy.* 35: 2580-2586.
- CTI-R 04/5. 2004. *Biocombustibili Solidi- Caratterizzazione del Pellet a Fini Energetici*. Italy: Comatito Termotecnica Italiano.
- Departemen Pertanian. 2010. Kakao. Departemen Pertanian. Jakarta (ID).
- DIN 51371. 1996. *Test of Solid Fuel: Compressed Wood and Compressed Bark in Natural State-Pellets or Briquettes-Requirements and Test Specification*. Germany: Germany Standardization Institute.
- Direktorat Jenderal Tanaman Pangan 2012. Buletin Direktorat Budidaya Aneka Kacang dan Umbi Periode Bulan September 2012. Kementan. Jakarta (ID).
- Douard F. 2007. *Challenge in the Expanding French Pellet Market*. ITEBE Pellet 2007 Conference. Wells, Austria.
- Erna Y. 2013. Emisi gas buang biomassa menggunakan sistem *Pressurized Fluidized Bed Combustion*. Prosiding Seminar Nasional Industrial Services (SNIS) III peningkatan daya saing industri nasional melalui integrasi industri baja berkelanjutan Menuju ASEAN Economic Community 2015". Cilegon: 8 Oktober 2013.
- Hasanuddin dan Lahay H. 2012. Pembuatan biopelet ampas kelapa sebagai energi bahan bakar alternatif pengganti minyak tanah ramah

- lingkungan. Laporan Penelitian Berorientasi Produk Dana PNBK Tahun Anggaran 2012. Gorontalo: Universitas Gorontalo.
- Hendra D. 2012. Rekayasa pembuatan mesin pellet kayu dan pengujian hasilnya. *J Penel Hasil Hutan*. 30(2): 144–154.
- Herliyana NE, Laila F, dan Hadi YS. 2011. *Schizophyllum commune* Fr. sebagai jamur uji ketahanan kayu Standar Nasional Indonesia pada empat jenis kayu rakyat: sengon, karet, tusam dan mangium. *J Silviculture Trop*. 2(3): 176-180.
- Irzaman, Darmasetiawan H, Alatas H, Irmansyah, Husin AD, Indro MN, Hardhienata H, Abdullah K, Mandang T, Tojo S. 2009. *Optimization of thermal efficiency of cooking stove with rice-husk fuel in supporting the proliferation of alternative energy in Indonesia*. Tokyo University of Agriculture and Technology (TUAT), Japan. Proceeding Symposium on Advanced Technological Development of Biomass Utilization in Southeast Asia. 2009: page 20.
- Liliana W. 2010. Peningkatan kualitas biopelet bungkil jarak pagar sebagai bahan bakar melalui teknik karbonisasi [Tesis]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Mani S, Tabil LG, dan Sokhansanj S. 2004. economics of producing fuel pellets from biomass. *Appl Eng in Agric*. 22(3): 421-426.
- Moran J. 2005. *Tropical Dairy Farming*. Collingwood: Landlinks Press.
- ONORM M 7135. 2004. *Compressed wood in natural state or bark in natural state-pellets and briquettes-requirements and test specifications*. Austria: UMBERA.
- Pari G, Sofyan K, Syafii W, Buchari. 2006. Kajian struktur arang dari lignin. *J Penel Hasil Hutan*. 24(1): 1-16.
- [PFI] Pellet Fuel Institute. 2007. Pellets : Industry Specifics. <http://www.peletheat.org/3/industry/industryspecifics.html>
- Praptiningsih GA dan Wahidin N. 2014. Keragaman biopelet limbah tanaman padi (*Oryza sativa* sp) sebagai energi alternatif ramah lingkungan. *J Agritech*. 15(2). 38-47
- P3GI 2012. Konsep peningkatan rendemen. pusat penelitian perkebunan gula Indonesia. Pasuruan (ID).
- [SNI 01-2891-1992]. Standar nasional Indonesia. 1992. Cara Uji Makanan dan Minuman. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta (ID).
- [SNI-06-4369-1996]. Standar Nasional Indonesia. 1996. Bubuk Arang Tempurung Kelapa. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta (ID).
- [SNI 01-7207-2006]. Standar Nasional Indonesia. 2006. Uji ketahanan kayu dan produk kayu terhadap organisme perusak kayu. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta (ID).
- Speigth JG. 2005. *Handbook of Coal Analysis*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Sulistyanto A. 2006. Karakteristik pembakaran biobriket campuran batubara dan sabut kelapa. *J Media Mesin*. 7 (2): 77-84.
- SS 18 71 20. 2004. *Quality Parameter for Fuel Pellets*. Swedia: National Standardization Institute.