

**BIOPELET CAMPURAN BATANG
SINGKONG DAN BAMBU**

YUNANDA SARI



**DEPARTEMEN HASIL HUTAN
FAKULTAS KEHUTANAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2018**

PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi berjudul Biopellet Campuran Batang Singkong dan Bambu adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir skripsi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Oktober 2018

Yunanda Sari
NIM E24140014

ABSTRAK

YUNANDA SARI. Biopellet campuran batang singkong dan bambu. Dibimbing oleh DEDED SARIP NAWAWI dan SANTIYO WIBOWO.

Tanaman singkong (*Manihot esculenta*) menghasilkan residu berupa batang singkong dan berpotensi sebagai bahan energi biomassa. Biomassa batang singkong sebagai bahan energi memiliki kelemahan karena nilai kalornya rendah. Penelitian ini bertujuan untuk membuat biopellet batang singkong dengan campuran bambu dan produk torefaksinya. Penambahan bambu dan produk torefaksinya berfungsi sebagai *fortifier* dengan taraf 10%, 20% dan 30%. Pembuatan biopellet dilakukan pada suhu 200 °C selama 10 menit. Parameter yang diukur meliputi kerapatan, kadar air, kadar abu, kadar zat terbang, karbon terikat dan nilai kalor yang mengacu pada SNI 8021:2014. Torefaksi menurunkan kadar air dan zat terbang, meningkatkan karbon terikat dan nilai kalor biopellet. Biopellet kontrol memiliki nilai kalor 4591 kal/g, sedangkan biopellet yang difortifikasi baik dengan bambu betung torefaksi maupun batang singkong torefaksi memiliki nilai kalor lebih tinggi, masing-masing 4779 dan 4641 kal/g. Kadar abu biopellet yang difortifikasi bahan torefaksi lebih tinggi dibandingkan dengan biopellet tanpa bahan torefaksi.

Kata kunci: bambu, biomassa, biopellet, singkong, torefaksi

ABSTRACT

YUNANDA SARI. Biopellet made from cassava stalk and bamboo mixture. Supervised by DEDED SARIP NAWAWI and SANTIYO WIBOWO.

Cassava plants (*Manihot esculenta*) produce residues in the form of cassava stalks and potentially as biomass energy materials. Cassava stalk biomass as an energy material has a disadvantage because of its low calorific value. This study aims to make cassava stalks biopellet with a mixture of bamboo and torrefaction products. The addition of bamboo and its torrefaction products as fortifiers were 10%, 20%, and 30%. Biopellet production was carried out at 200 °C for 10 minutes. Parameters included density, moisture content, ash content, volatile matter, fixed carbon and calorific value that refer to SNI 8021: 2014. Torrefaction decreased water content and volatile substances, increased fixed carbon and heating values of biopellet. Control has a calorific value of 4591 cal/g, while biopellet fortified with bamboo betung torrefaction and cassava stalk torrefaction has a higher heating value, which were of 4779 and 4641 cal/g respectively. Ash content of biopellet fortified with torrefied products was higher compared to nonfortified biopellet.

Keywords: bamboo, biomass, biopellet, cassava, torrefication

**BIOPELET CAMPURAN BATANG
SINGKONG DAN BAMBU**

YUNANDA SARI

Skripsi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Kehutanan
pada
Departemen Hasil Hutan

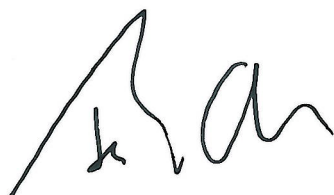
**DEPARTEMEN HASIL HUTAN
FAKULTAS KEHUTANAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2018**

Judul Skripsi: Biopelet Campuran Batang Singkong dan Bambu

Nama : Yunanda Sari

NIM : E24140014

Disetujui oleh



Dr. Ir. Deded Sarip Nawawi, MSc
Pembimbing I



Santiyo Wibowo, STP, MSi
Pembimbing II



Diketahui oleh

Dr. Ir. Deded Sarip Nawawi, MSc
Ketua Departemen

Tanggal Lulus:

22 OCT 2018

PRAKATA

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah *subhanahu wa ta'ala* atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Februari 2018 ini ialah biopelet, dengan judul Biopelet campuran batang singkong dan bambu.

Terima kasih penulis ucapkan kepada Bapak Dr Ir Deded Sarip Nawawi, MSc dan Bapak Santiyo Wibowo, STP, MSi selaku pembimbing, atas segala arahan serta masukan dalam pelaksanaan penelitian dan penyusunan karya ilmiah ini. Di samping itu, apresiasi penulis sampaikan untuk Bapak Supriatin (alm) dan Bapak Gunawan sebagai laboran Kimia Hasil Hutan yang telah membantu pelaksanaan penelitian. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada Ayahanda Arifin (alm), Ibu Nurjanah, Ayah Nazaruddin dan Alif Ihza Maulana serta seluruh keluarga besar, atas segala doa dan kasih sayang yang diberikan. Seterusnya tak lupa pula kepada teman-teman Fahutan 51 khususnya Departemen Hasil Hutan 50, teman-teman satu bimbingan, Angkatan Wasur, teman-teman Young Dramaga, serta seluruh teman dan sahabat yang tidak dapat saya sebutkan satu-persatu, saya ucapkan terima kasih.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat.

Bogor, Oktober 2018

Yunanda Sari

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
PENDAHULUAN	1
Latar Belakang	1
Perumusan Masalah	2
Tujuan Penelitian	2
Manfaat Penelitian	2
METODE	2
Waktu dan Tempat	2
Bahan	2
Alat	2
Prosedur Penelitian	3
Persiapan Bahan Baku	3
Prosedur Analisis Data	5
HASIL DAN PEMBAHASAN	6
SIMPULAN DAN SARAN	13
Simpulan	13
Saran	13
DAFTAR PUSTAKA	14
LAMPIRAN	16
RIWAYAT HIDUP	22

DAFTAR TABEL

1	Hasil uji karakteristik bahan baku biopelet	6
2	Kerapatan biopelet tanpa campuran	6
3	Kadar air biopelet tanpa campuran	8
4	Kadar abu biopelet tanpa campuran	9
5	Kadar zat terbang biopelet tanpa campuran	10
6	Karbon terikat biopelet tanpa campuran	11
7	Nilai kalor biopelet tanpa campuran	12

DAFTAR GAMBAR

1	Kerapatan biopelet batang singkong yang difortifikasi tiga jenis bahan pada berbagai konsentrasi	7
2	Kadar air biopelet batang singkong yang difortifikasi tiga jenis bahan pada berbagai konsentrasi.	8
3	Kadar abu biopelet batang singkong yang difortifikasi tiga jenis bahan pada berbagai proporsi	9
4	Kadar zat terbang biopelet batang singkong yang difortifikasi tiga jenis bahan pada berbagai proporsi	10
5	Kadar karbon terikat biopelet batang singkong yang difortifikasi tiga jenis bahan pada berbagai konsentrasi	11
6	Nilai kalor biopelet batang singkong yang difortifikasi tiga jenis bahan pada berbagai konsentrasi	12

DAFTAR LAMPIRAN

1	Analisis ragam kerapatan biopelet fortifikasi	16
2	Analisis ragam kadar air biopelet fortifikasi	17
3	Analisis ragam kadar abu biopelet fortifikasi	18
4	Analisis ragam kadar zat terbang biopelet fortifikasi	19
5	Analisis ragam kadar karbon terikat biopelet fortifikasi	20
6	Analisis ragam nilai kalor biopelet fortifikasi	21

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Biomassa adalah salah satu sumber energi terbarukan sehingga memiliki prospek baik sebagai sumber energi alternatif. Menurut IEA (2012), diperkirakan sebanyak 100 EJ atau sekitar 5-7 juta ton biomassa kering dibutuhkan sebagai sumber penghasil energi biomassa dan 60 EJ biomassa untuk transportasi di tahun 2050. Biomassa memiliki kekurangan sebagai sumber energi karena bersifat higroskopis sehingga memiliki kadar air tinggi, bersifat heterogen, kerapatan energi rendah, dan kandungan oksigen tinggi. Biomassa memiliki keunggulan dilihat dari ketersediaan yang sangat berlimpah dan dapat diperoleh dalam waktu relatif singkat dibandingkan dengan bahan bakar fosil. Berbagai metode untuk memperbaiki sifat fisik biomassa antara lain melalui proses *pretreatment* seperti torefaksi, karbonisasi, gasifikasi, pirolisis, dan atau melalui proses konversi baik secara kimia, biologi, dan termal.

Biomassa tumbuhan antara lain berasal dari pertanian dan kehutanan. Biomassa batang singkong (*Manihot esculenta*) adalah salah satu biomassa potensial sebagai bahan energi karena potensinya tinggi. FAO (1998) melaporkan bahwa luas pertanian singkong di Indonesia mencapai 1.18 juta hektar pada tahun 2011 dan Pranoto (2013) mencatat bahwa setiap tahun terdapat 5.1 ton limbah batang singkong yang dihasilkan dalam satu hektar area pertanian singkong di Indonesia. Pattiya (2011) melaporkan bahwa batang singkong merupakan biomassa pertanian berkadar lignin rendah sehingga berkecenderungan bernilai kalor rendah.

Sementara itu, bambu yang merupakan salah satu hasil hutan umumnya memiliki karakteristik yang baik sebagai bahan energi. Potensi biomassa bambu sangat tinggi karena dapat tumbuh sangat baik di Indonesia dengan produktifitas biomassa tinggi karena pertumbuhannya yang cepat. Bambu betung (*Dendrocalamus asper*) merupakan salah satu spesies bambu yang umum dijumpai di Indonesia. Penelitian Darmawan (2017) menunjukkan bahwa diantara lima spesies yang diteliti, bambu betung memiliki nilai kalor tertinggi. Bambu betung berpotensi digunakan sebagai bahan fortifikasi untuk meningkatkan nilai kalor biomassa pertanian berkalor rendah. Peningkatan nilai kalor biomassa dapat dilakukan juga melalui proses karbonisasi yang menghasilkan produk solid bernilai kalor lebih tinggi.

Penggunaan bahan *fortifier* untuk meningkatkan nilai kalor biomassa dapat dilakukan melalui proses pencampuran dan peletisasi. Proses peletisasi biomassa untuk energi bertujuan untuk menghasilkan produk kerapatan energi dan massa yang tinggi sehingga selain meningkatkan mutu produk energi juga memudahkan dalam proses penanganan, penyimpanan dan distribusi produk. Cocchi *et al.* (2011) menyatakan bahwa sebanyak 3 juta ton komoditas pelet telah diperdagangkan di tahun 2010 untuk memenuhi permintaan industri pembangkit energi. Jumlah tersebut diproyeksikan akan terus meningkat dengan berlakunya kebijakan internasional dalam diversifikasi sumber energi. Perdagangan biomassa dan pelet torefaksi juga akan terus tumbuh dan menyuplai kebutuhan pabrik penghasil bioenergi dan panas di wilayah dengan ketersediaan biomassa yang terbatas.

Perumusan Masalah

Pemanfaatan biomassa bernilai kalor rendah seperti biomassa limbah pertanian dapat dilakukan melalui proses fortifikasi dengan biomassa bernilai kalor lebih tinggi dan atau peletisasi. Biomassa batang singkong dengan potensi tinggi dapat dimanfaatkan dengan campuran biomassa hasil hutan yang memiliki nilai kalor lebih tinggi. Kombinasi penambahan *fortifier* dan peletisasi diharapkan dapat meningkatkan nilai manfaat biomassa bermutu rendah sebagai bahan energi.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk membuat produk energi biomassa berupa biopellet dari campuran limbah pertanian batang pohon singkong yang difortifikasi dengan biomassa hasil hutan bambu dan produk torefaksinya. Karakteristik produk biopellet dievaluasi dengan analisis proksimat dan mengacu pada standar SNI dan ASTM.

Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan pemanfaatan biomassa limbah pertanian dan hasil hutan sebagai bahan energi bermutu. Hasil penelitian ini diharapkan dapat mendukung pengembangan sumber energi alternatif dan diversifikasi serta efisiensi pemanfaatan sumber daya alam.

METODE

Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan pada bulan Februari-Agustus 2018 di Laboratorium Kimia Hasil Hutan Departemen Hasil Hutan Fakultas Kehutanan IPB. Pembuatan arang batang singkong, bambu dan proses peletisasi dilakukan di Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan. Pengujian nilai kalor dilakukan di Balai Penelitian Ternak.

Bahan

Penelitian ini menggunakan limbah batang singkong (*Manihot esculenta*) dan bambu betung (*Dendrocalamus asper*) asal Jawa Barat. Bahan pendukung lainnya yaitu bahan kimia antara lain: H_2SO_4 , CH_3COOH , $NaOH$, $NaClO_2$, Etanol-benzena, dan air destilata.

Alat

Peralatan yang digunakan dalam mempersiapkan bahan meliputi pemotong kayu, *willey mill*, plastik, *seal bag*, timbangan dan saringan bertingkat. Pengujian komponen kimia menggunakan alat meliputi sohklet, *autoclave*, cawan porselin, peralatan gelas laboratorium, *water bath*, *oven*, timbangan, desikator dan kertas

saring. Pengarangan menggunakan tungku arang dan pembuatan pelet menggunakan *pellet mill*. Uji proksimat menggunakan alat-alat seperti cawan porselin, nampan besi, *oven*, tanur, kaliper digital, timbangan analitik, desikator dan *bomb calorimeter*.

Prosedur Penelitian

Persiapan Bahan Baku

Pelet biomassa dibuat dari batang singkong dan bambu dalam bentuk serbuk. Batang singkong dan bambu dicacah dan digiling menggunakan *willey mill* sehingga diperoleh serbuk. Serbuk disaring menggunakan saringan ukuran 20 mesh untuk mendapatkan sampel serbuk, sedangkan saringan ukuran 40-60 mesh untuk memperoleh sampel pengujian proksimat batang singkong dan bambu betung. Kadar air sampel berkisar 8-10%. Arang bambu dan arang batang singkong dibuat melalui proses torefaksi pada suhu 250 °C.

Pengujian Bahan Baku

Pengujian karakteristik bahan baku dilakukan dengan uji proksimat dan analisis kadar komponen kimia. Analisis proksimat batang singkong dan bambu mengacu pada standar ASTM (1998) meliputi pengujian kadar air, kadar abu, kadar zat terbang, dan karbon terikat, sedangkan untuk pengujian proksimat produk torefaksinya mengacu terhadap ASTM (2003). Komponen kimia yang dianalisis meliputi kadar ekstraktif, holoselulosa, lignin klason, α -selulosa dan abu. Kadar hemiselulosa ditentukan dengan pengurangan nilai kadar α -selulosa dari kadar holoselulosa. Pengujian kadar komponen kimia mengacu pada standar TAPPI.

Pembuatan Biopelet

Biopelet dibuat dari masing-masing campuran batang singkong dengan bambu, batang singkong dengan bambu betung torefaksi, batang singkong dan batang singkong torefikasi dengan proporsi bahan tambahan 0%, 10%, 20%, dan 30%. Densifikasi bahan pelet menggunakan alat kempa yang dilakukan di Laboratorium Terpadu Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan Bogor, Gunung Batu, Bogor. Pencetakan dilakukan menggunakan *Pellet Mill* sistem kempa pada suhu 200 °C selama 10 menit.

Pengujian Biopelet

Karakteristik biopelet diuji dengan analisis proksimat untuk energi biomassa yang mengacu pada SNI 8021:2014 tentang pelet kayu. Parameter sifat biopelet yang diuji meliputi kerapatan, kadar abu, kadar air, kadar zat terbang, kadar karbon terikat, dan nilai kalor.

Kerapatan

Nilai kerapatan adalah perbandingan antara berat dengan volume biopelet (g/m^3). Sebanyak tujuh pelet dipilih secara acak dari masing-masing sampel. Sampel pelet ditimbang dan diukur diameter serta panjangnya untuk mengetahui dimensi. Rumus menghitung kerapatan adalah:

$$\rho = \frac{m}{V \text{ total}} \qquad V \text{ total} = \pi r^2 t$$

Keterangan:

ρ = kerapatan biopelet (g/cm^3)

m = massa biopelet

$V \text{ total}$ = volume total (cm^3)

r = jari-jari (cm^3)

t = tinggi biopelet

Kadar Air

Sebanyak satu gram sampel ditimbang dan dimasukkan ke dalam cawan porselen. Sampel dikeringkan dalam oven bersuhu 103 ± 2 °C selama 24 jam sampai bobotnya konstan. Kadar air dihitung dengan rumus:

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{\text{Berat awal (g)} - \text{Berat Kering Tanur (g)}}{\text{Berat Kering Tanur (g)}} \times 100\%$$

Kadar Zat Terbang

Sebanyak satu gram ditimbang dan dimasukkan pada cawan porselen. Sampel dipanaskan dalam oven bersuhu 950 ± 20 °C selama tujuh menit. Kadar zat terbang dihitung dengan rumus:

$$\text{Zat Terbang (\%)} = \frac{B - C}{W} \times 100\%$$

Keterangan:

W = Massa awal sampel sebelum pengujian kadar air (g)

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

C = Massa sampel setelah dipanaskan dalam tanur (g)

Kadar Abu

Sebanyak satu gram sampel ditimbang dan dimasukkan dalam cawan porselen. Sampel dipanaskan di dalam oven tanur bersuhu 600-900 °C selama 5-6 jam. Kadar abu dihitung dengan rumus:

$$\text{Kadar abu (\%)} = \frac{D}{W} \times 100\%$$

Keterangan:

W = Massa awal sampel sebelum penguji (g)

D = Massa abu (g)

Karbon Terikat

Biopellet yang diujikan telah dalam keadaan berat kering tanur. Rumus menghitung kadar karbon terikat adalah:

$$\text{Karbon terikat (\%)} = 100 - (\text{zat terbang (\%)} + \text{kadar abu (\%)})$$

Nilai Kalor

Uji nilai kalor menggunakan *bomb calorimeter*. Rumus menghitung banyak kalor yang diserap adalah:

$$\text{Nilai kalor} = \frac{W (T_2 - T_1)}{M} \times B$$

Keterangan:

W = Nilai kalor air kalorimeter (kal/°C)

T₁ = Suhu mula-mula (°C)

T₂ = Suhu setelah pembakaran (°C)

m = massa sampel yang terbakar (g)

B = koreksi panas pada kawat besi (kal/g)

Prosedur Analisis Data

Analisis data hasil pengujian menggunakan bantuan perangkat lunak *microsoft excel* dan SPSS. Data tersebut ditampilkan dalam bentuk grafik batang dan diuraikan secara deskriptif. Rancangan percobaan yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap factorial. Model percobaan yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$Y_{ij} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + \epsilon_{ij}$$

Keterangan:

Y_{ij} = Nilai kerapatan, kadar air, kadar abu, kadar zat terbang, kadar karbon terikat, dan nilai kalor pada taraf taraf ke-i dan ulangan ke-j

μ = nilai rata-rata ulangan

A_i = pengaruh perlakuan A dan taraf ke-i

B_j = pengaruh perlakuan B dan taraf ke-j

(AB)_{ij} = pengaruh interaksi faktor A pada taraf ke-i dan faktor B pada taraf ke-j

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

Data yang diperoleh di uji dengan *Analysis of variance* (ANOVA). Hasil pengolahan data yang menunjukkan perbedaan nyata akan dilanjutkan dengan melakukan analisis *Duncan*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Bahan Baku

Bahan baku biopelet pada penelitian ini memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Berdasarkan hasil pengujian proksimat bahan baku, bambu betung mengandung kadar air tertinggi dibandingkan dengan bahan baku lainnya. Kondisi ini dipengaruhi oleh lama pengeringan bahan untuk mencapai kering udara. Kadar zat terbang batang singkong adalah yang tertinggi diantara bahan lainnya, yakni mencapai 78.65%. Kadar abu bahan yang didapat dari pengujian ini berkisar 2.23-4.39%. Kadar abu tertinggi dihasilkan dari batang singkong torefaksi. Perbedaan kadar abu pada bahan disebabkan oleh proses torefaksi dan tempat tumbuh. Tempat tumbuh berhubungan dengan unsur hara yang terkandung dalam tanah. Suatu tempat tumbuh mengandung unsur hara berbeda-beda satu dan lainnya. Hasil pengujian karakteristik bahan baku dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Hasil uji karakteristik bahan baku biopelet

Pengujian	BS	BBJ	BST	BBT
Kadar air (%)	9.28	9.59	5.97	4.80
Zat terbang (%)	78.65	73.45	66.16	43.12
Kadar abu (%)	3.29	2.23	4.39	4.08
Karbon terikat (%)	18.06	24.32	29.46	52.80
Nilai kalor (Kkal/kg)	3859	4154	5017	6095
Selulosa (%)	26.13	45.24	-	-
Hemiselulosa (%)	42.07	25.65	-	-
Lignin (%)	26.62	25.80	-	-
Ekstraksi etanol-benzena (%)	2.07	1.85	-	-

Keterangan:

- BS = batang singkong
 BBJ = bambu betung Jawa Barat
 BST = batang singkong torefaksi
 BBT = bambu betung torefaksi

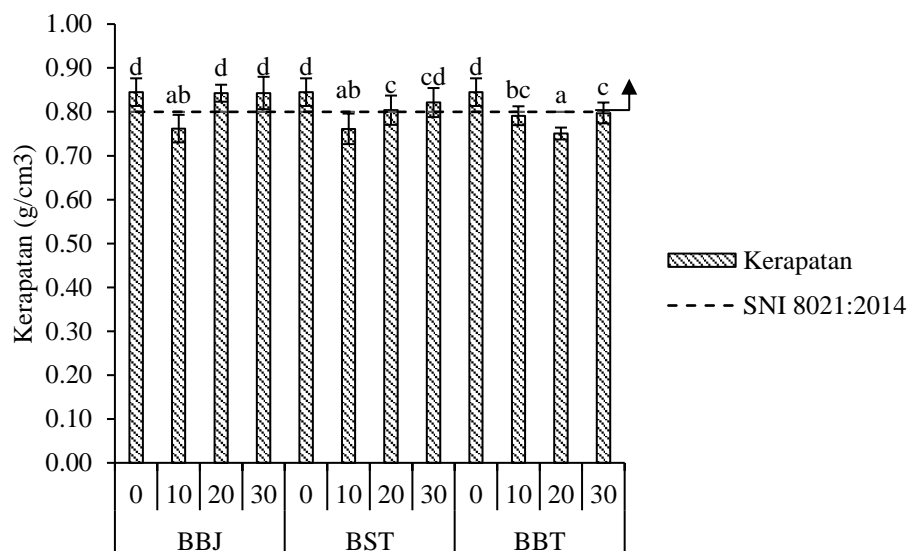
Kerapatan

Kerapatan biopelet berpengaruh terhadap kerapatan energi. Biopelet tanpa campuran memiliki kerapatan berkisar 0.77-0.90 g/cm³ (Tabel 2). Biopelet berkerapatan tinggi dihasilkan dari bambu betung dan biopelet berkerapatan rendah dari batang singkong torefaksi. Berdasarkan persyaratan SNI yang menetapkan kerapatan minimum pelet 0.8 g/cm³, biopelet yang dihasilkan telah memenuhi standar kecuali biopelet batang singkong torefaksi.

Tabel 2 Kerapatan biopelet tanpa campuran

Nama Sampel	Kerapatan (g/cm ³)
Biopelet batang singkong	0.84
Biopelet batang singkong torefaksi	0.77
Biopelet bambu betung	0.90

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perbedaan jenis *fortifier* memberikan pengaruh yang tidak berbeda nyata, sedangkan peningkatan proporsi *fortifier* serta interaksi antara kedua jenis perlakuan memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap kerapatan biopelet. Biopelet fortifikasi yang dihasilkan belum secara keseluruhan memenuhi SNI. Kerapatan biopelet berkisar 0.75-0.84 g/cm³.



Gambar 1 Kerapatan biopelet batang singkong yang difortifikasi tiga jenis bahan pada berbagai konsentrasi

Menurut Harun (2016), kerapatan pelet biomassa dapat bervariasi tergantung pada kadar lignin bahan baku. Kadar lignin yang rendah berdampak terhadap kerapatan biopelet yang rendah dan kadar lignin yang tinggi menghasilkan produk biopelet berkerapatan tinggi. Perbedaan tingkat kerapatan biopelet yang dihasilkan selain dipengaruhi oleh karakteristik bahan, juga dipengaruhi oleh proses densifikasi misalnya tekanan dan suhu yang digunakan. Disamping itu, persebaran ukuran partikel dalam serbuk turut mempengaruhi kerapatan. Meskipun bahan torefaksi memiliki persebaran ukuran partikel lebih baik daripada bambu, kondisi ini menurunkan tingkat kerapatan biopelet yang dihasilkan. Berdasarkan Gambar 1, terlihat bahwa biopelet campuran batang singkong dan bambu memiliki nilai terbaik dibandingkan dengan campuran lainnya. Kerapatan biopelet bergantung pada karakteristik bahan baku seperti kadar air, ukuran partikel, rasio L/D dan binder (Tumuluru 2011).

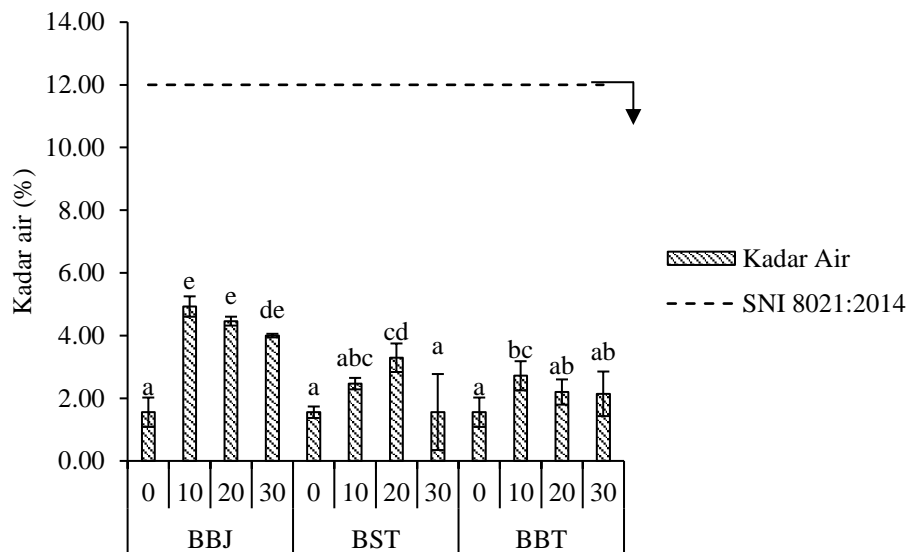
Kadar air

Kadar air biopelet merupakan salah satu indikator yang perlu diperhatikan karena akan berdampak pada penyalaan pelet. Kadar air berlebihan akan menyulitkan pembakaran sehingga waktu yang dibutuhkan saat penyalaan biopelet lebih lama. Biopelet tanpa campuran memiliki kadar air berkisar 1.55-2.06% yang ditunjukkan pada Tabel 3. SNI menetapkan kadar air terendah biopelet tidak lebih besar dari 12% sehingga biopelet ini telah sesuai standar. Kadar air tertinggi terdapat pada biopelet bambu betung dan kadar air terendah pada biopelet batang singkong.

Tabel 3 Kadar air biopelet tanpa campuran

Nama Sampel	Kadar Air (%)
Biopelet batang singkong	1.55
Biopelet batang singkong torefaksi	1.94
Biopelet bambu betung	2.06

Berdasarkan hasil analisis ragam diketahui bahwa baik perbedaan jenis *fortifier* dan proporsi yang ditambahkan serta interaksinya memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap kadar air biopelet. Biopelet fortifikasi telah memenuhi persyaratan SNI. Kadar air biopelet yang dihasilkan berkisar 1.56-4.93%.



Gambar 2 Kadar air biopelet batang singkong yang difortifikasi tiga jenis bahan pada berbagai konsentrasi.

Pada umumnya, kadar air biopelet dipengaruhi proses densifikasi, lama penyimpanan, dan kadar air bahan baku. Kadar air juga mempengaruhi ketahanan biopelet (Stahl 2011). Kadar air biopelet campuran batang singkong dan bambu betung memiliki kadar air tertinggi dibandingkan dengan campuran lainnya. Perlakuan torefaksi bahan baku mampu menurunkan kadar air dalam produk.

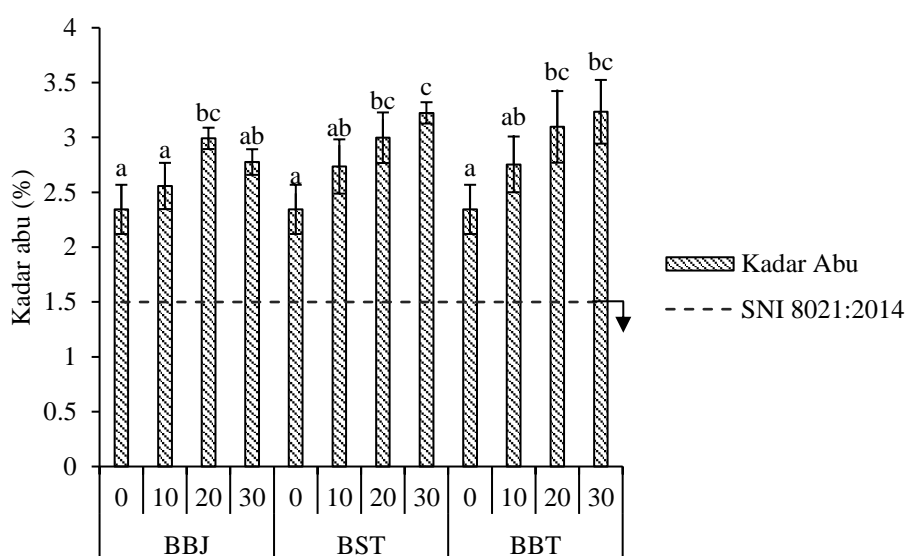
Kadar abu

Kadar abu merupakan unsur yang jumlahnya minor namun berpengaruh besar terhadap mutu biopelet. Hasil pengujian kadar abu biopelet tanpa campuran berkisar 2.34-4.06% dapat dilihat pada Gambar 3. Biopelet komposisi batang singkong torefaksi memiliki kadar abu tertinggi dan kadar abu terendah biopelet batang singkong. Persyaratan SNI untuk kadar abu adalah maksimal 1.5%.

Tabel 4 Kadar abu biopelet tanpa campuran

Nama Sampel	Kadar abu (%)
Biopelet batang singkong	2.34
Biopelet batang singkong torefaksi	4.06
Biopelet bambu betung	2.39

Berdasarkan hasil analisis ragam diketahui bahwa perbedaan jenis *fortifier* memberikan pengaruh yang tidak berbeda nyata, sedangkan perbedaan proporsi *fortifier* yang ditambahkan dan interaksi antara kedua perlakuan memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap kadar abu biopelet. Biopelet fortifikasi yang dihasilkan penelitian ini belum memenuhi persyaratan SNI. Kadar abu biopelet berkisar 2.56-3.23%.



Gambar 3 Kadar abu biopelet batang singkong yang difortifikasi tiga jenis bahan pada berbagai proporsi

Pembakaran biopelet akan menyisakan abu mineral (Bantacut 2013). Menurut penelitian Pattiya (2011) tentang limbah pertanian singkong, unsur anorganik tertinggi pada batang singkong adalah potasium diikuti oleh kalsium, forfor, magnesium, klor, sodium dan cuprum. Unsur ini menyebabkan pengerakan dan mengotori alat pembakaran. Semakin rendah kadar abu, semakin baik kualitas biopelet. Kadar abu bambu dipengaruhi oleh usia tanaman. Kadar abu akan meningkat seiring bertambahnya umur tanaman (Cheng 2015).

Kadar zat terbang

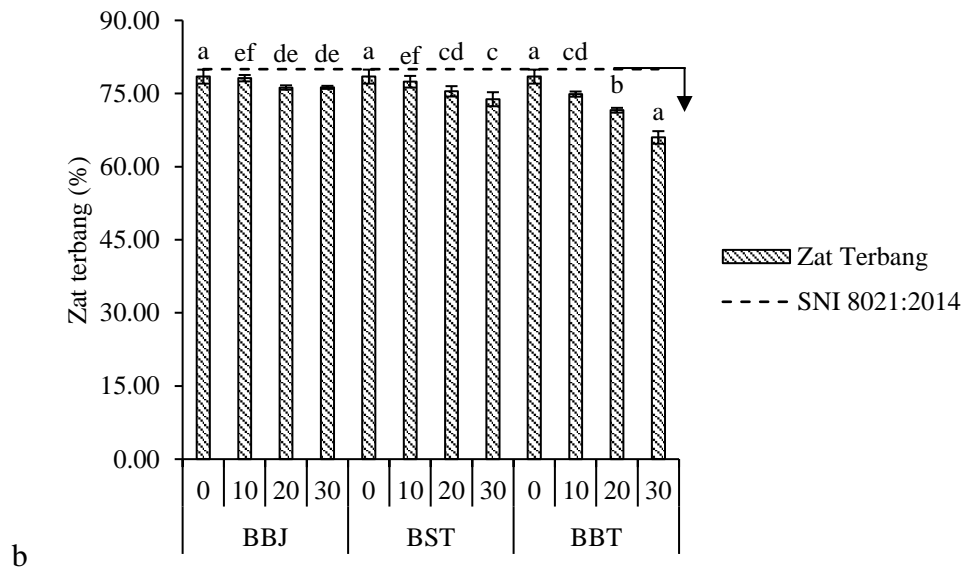
Jumlah asap yang dihasilkan biopelet dapat dilihat dari kadar zat terbang yang dikandungnya. Kadar zat terbang yang tinggi akan menghasilkan asap yang banyak dan sebaliknya kadar zat terbang yang rendah akan menghasilkan sedikit asap (Bantacut 2013). Kadar zat terbang yang dihasilkan biopelet tanpa campuran berkisar 65.42-78.47% (Tabel 5). Biopelet pada penelitian ini sudah memenuhi standar SNI karena memiliki kandungan zat terbang lebih rendah dari 80%. Biopelet batang singkong memiliki kadar zat terbang tertinggi dan biopelet batang

singkong torefaksi kadar terendah. Rendahnya zat terbang pada biopelet batang singkong torefaksi adalah pengaruh perlakuan torefaksi yang mampu menurunkan zat terbang bahan baku.

Tabel 5 Kadar zat terbang biopelet tanpa campuran

Nama Sampel	Kadar zat terbang (%)
Biopelet batang singkong	78.47
Biopelet batang singkong torefaksi	65.42
Biopelet bambu betung	73.03

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perbedaan jenis *fortifier* dan peningkatan proporsinya serta interaksinya memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap kadar zat terbang biopelet. Biopelet fortifikasi pada penelitian ini telah memenuhi SNI dengan kadar zat terbang berkisar 65.99-78.15%.



Gambar 4 Kadar zat terbang biopelet batang singkong yang difortifikasi tiga jenis bahan pada berbagai proporsi

Basu (2010) menyatakan bahwa komponen kimia penyusun biomassa berlisnoselulosa yang paling berkontribusi dalam produksi zat terbang adalah hemiselulosa dan selulosa. Hal ini dipengaruhi oleh perbedaan struktur molekul dan gugus fungsi masing-masing komponen (Yu 2018). Produksi gas terbanyak dihasilkan oleh hemiselulosa. Oleh karena itu, biopelet yang difortifikasi produk torefaksi baik batang singkong maupun bambu betung menghasilkan kadar zat terbang yang rendah. Hemiselulosa sebagian besar tersusun oleh xilan, yaitu pentosa yang diikat oleh ikatan β -D-1-4 glikosida dan terdiri dari berbagai kelompok unsur seperti grup karbonil, aldehida, dan hidrokarbon (Yu 2018). Rentang suhu untuk menguraikan hemiselulosa terjadi pada 185-325 °C. Kehilangan massa yang terjadi pada hemiselulosa mula-mula akibat hilangnya ikatan glikosida dan reduksi rantai samping. Proses reduksi massa hemiselulosa terus berlanjut dengan memutus monosakarida (Ma *et. al.* 2018). Berdasarkan hasil pengujian, batang singkong memiliki kadar hemiselulosa relatif tinggi yaitu

mencapai 42.07%, sebaliknya bambu betung memiliki kandungan selulosa tinggi yang kadarnya mencapai 45.24%.

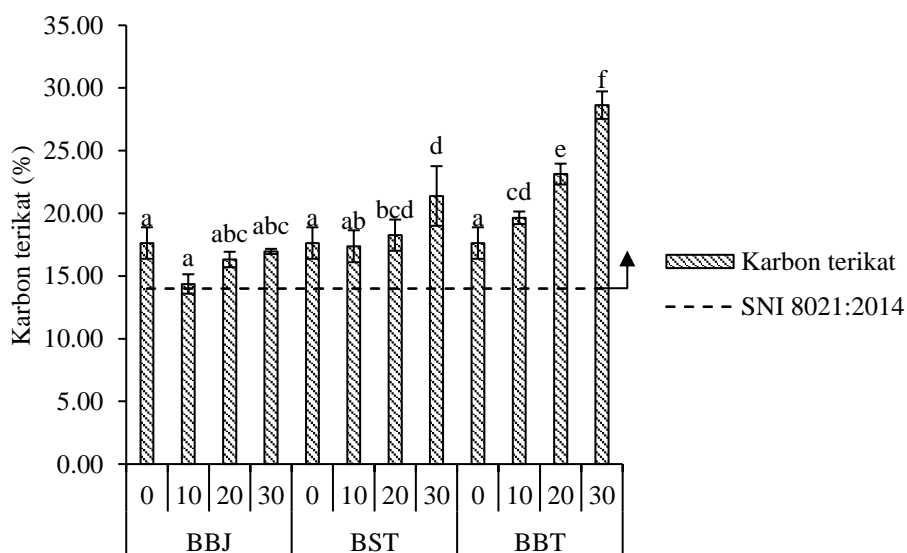
Karbon terikat

Bahri (2007) menyatakan karbon terikat merupakan unsur-unsur selain fraksi air, abu dan zat terbang. Karbon terikat mempengaruhi kandungan energi pelet. Kadar karbon tinggi menandakan nilai kalor yang tinggi. Biopelet tanpa campuran memiliki kadar karbon terikat berkisar 19.19-30.52% (Tabel 6). Kandungan karbon terikat pada biopelet ini telah memenuhi SNI karena memiliki kadar lebih besar dari 14%. Kadar karbon terikat tertinggi dihasilkan oleh biopelet komposisi batang singkong torefaksi. Nilai zat terbang berbanding terbalik dengan nilai karbon terikat. Kandungan kadar terbang yang tinggi menandakan kadar karbon terikat yang rendah.

Tabel 6 Karbon terikat biopelet tanpa campuran

Nama Sampel	Kadar karbon terikat (%)
Biopelet batang singkong	19.19
Biopelet batang singkong torefaksi	30.52
Biopelet bambu betung	24.59

Biopelet fortifikasi pada penelitian ini telah sesuai SNI. Kadar karbon terikat biopelet lebih besar dari 14% yaitu berkisar 19.29-30.77%. Berdasarkan hasil analisis ragam diketahui bahwa baik perbedaan jenis *fortifier* dan proporsi *fortifier* yang ditambahkan serta interaksinya memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap kadar karbon terikat biopelet.



Gambar 5 Kadar karbon terikat biopelet batang singkong yang difortifikasi tiga jenis bahan pada berbagai konsentrasi

Kadar air dan zat terbang pada produk torefaksi telah berkurang, sehingga kadar karbon terikatnya meningkat. Hal ini terbukti dengan meningkatnya proporsi jenis *fortifier* produk torefaksi, maka kadar karbon terikat biopelet juga meningkat.

Chen (2011) memaparkan bahwa proses torefaksi mampu meningkatkan nilai kalor karena menurunnya nisbah O/C dalam biomassa.

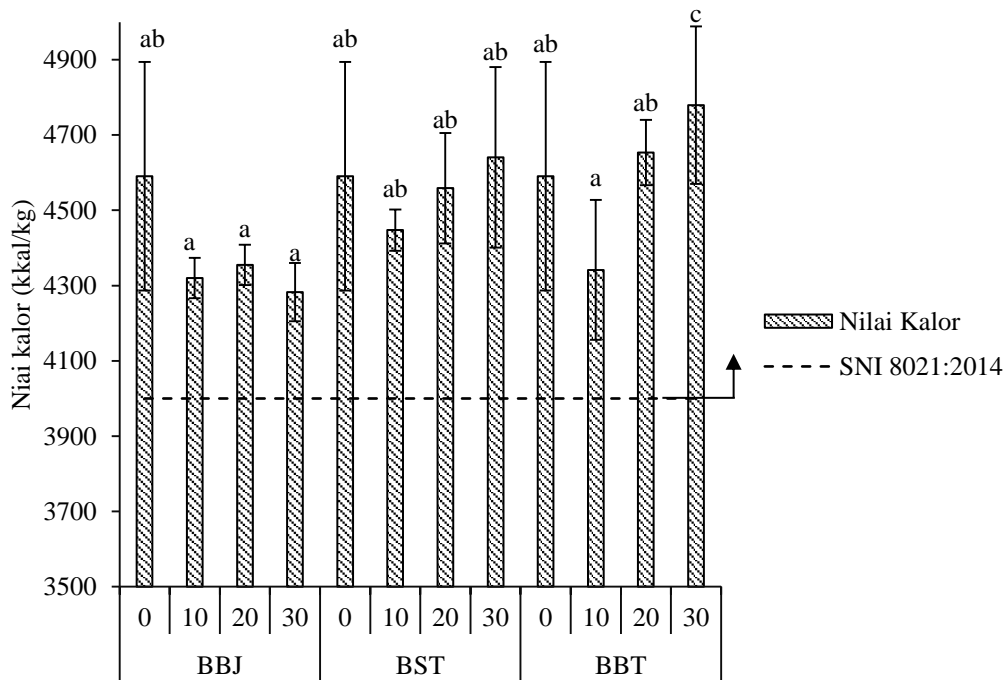
Nilai kalor

Menurut Bantacut (2013), faktor-faktor seperti kadar air, abu dan karbon terikat memberi pengaruh terhadap nilai kalor. Liliana (2010) menyatakan parameter penting dalam memilih bahan bakar salah satunya adalah nilai kalor. Biopellet tanpa campuran memiliki nilai kalor berkisar 4456-4783 kal/g (Tabel 7). Persyaratan yang ditetapkan SNI untuk nilai kalor minimal 4000 kal/g, sehingga biopellet penelitian ini telah memenuhi ketentuan tersebut. Berdasarkan hasil analisis ragam, komposisi bahan baku ($\alpha = 0.05$) tidak memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap kadar karbon terikat biopellet. Biopellet komposisi batang singkong torefaksi memiliki nilai kalor tertinggi.

Tabel 7 Nilai kalor biopellet tanpa campuran

Nama Sampel	Nilai Kalor (kal/g)
Biopellet batang singkong	4591
Biopellet batang singkong torefaksi	4783
Biopellet bambu betung	4456

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perbedaan jenis *fortifier* memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap nilai kalor biopellet, sedangkan peningkatan proporsi *fortifier* memberikan pengaruh yang tidak berbeda nyata. Interaksi antara perlakuan jenis *fortifier* dan peningkatan proporsi *fortifier* tidak memberikan pengaruh yang berbeda nyata. Nilai kalor biopellet fortifikasi berkisar 4282-4779 kal/g yang artinya biopellet ini telah sesuai dengan SNI.



Gambar 6 Nilai kalor biopellet batang singkong yang difortifikasi tiga jenis bahan pada berbagai konsentrasi

Lignin memiliki kandungan karbon yang tinggi dan oksigen yang rendah daripada selulosa dan hemiselulosa (Chen *et. al.* 2018). Lignin merupakan satu-satunya polimer yang mempunyai struktur aromatik sehingga baru akan terdegradasi pada suhu diatas 280 °C. Suhu yang tinggi menyebabkan reaksi polikondensasi dan demetoksilasi pada struktur aromatik lignin (degradasi termal alifatik gugus C-C dan C-O, polisakarida, karbonil dan struktur asam karboksilat (Castro *et. al* 2017). Menurut Cheng (2015), lignin pada bambu mempunyai kadar siringil yang lebih tinggi dibandingkan dengan guaiasil. Semakin matang usia bambu semakin tinggi siringil, sebaliknya terjadi pada guaiasil. Rasio siringil terhadap lignin pada bambu juga meningkat seiring usia tanaman menua.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Biopelet tanpa campuran yang terbaik diperoleh dari biopelet batang singkong torefaksi yang memiliki nilai kalor 4783 kal/g. Biopelet fortifikasi bambu betung terbaik dengan nilai kalor 4355 kal/g adalah pada kadar 20%. Biopelet fortifikasi batang singkong torefaksi terbaik yaitu pada konsentrasi 30% dengan nilai kalor 4641 kal/g. Biopelet terbaik dari komposisi batang singkong dan bambu betung torefaksi diperoleh dari biopelet fortifikasi bambu betung torefaksi 30% dengan nilai kalor 4779 kal/g. Biopelet batang singkong, bambu, batang singkong torefaksi, bambu torefaksi dan campurannya memiliki karakteristik yang sudah memenuhi standar SNI kecuali untuk kadar abu. Kadar abu pada biopelet yang difortifikasi dengan produk torefaksi lebih tinggi dibandingkan dengan biopelet kontrol. Perlakuan torefaksi meningkatkan mutu bahan energi dan dapat digunakan sebagai bahan fortifikasi biomass berkalor rendah.

Saran

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk meningkatkan ketahanan biopelet melalui modifikasi proses densifikasi dan ukuran partikel. Selain itu, perlu dilakukan studi lanjutan agar biopelet batang singkong memenuhi standar berbagai standar biopelet internasional, sehingga memiliki daya jual sebagai biopelet komersial.

DAFTAR PUSTAKA

- [ASTM] American Society for Testing Material. 1998. ASTM D-1102. Test Method for Ash in Wood. West Conshoken (US): ASTM International.
- [ASTM] American Society for Testing Material. 1998. ASTM E-870. Standard Test Methods for Analysis of Wood Fuels. West Conshoken (US): ASTM International.
- [ASTM] American Society for Testing Material. 1998. ASTM E-871. Test Method for Moisture in the Analysis of Particulate Wood Fuels. West Conshoken (US): ASTM International
- [ASTM] American Society for Testing Material. 1998. ASTM E-872. Test Method for Volatile Matter in the Analysis of Particulate Wood Fuels. West Conshoken (US): ASTM International
- [ASTM] American Society for Testing Material. 2003. ASTM D 3173: Test Method for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke². West Conshoken (US): ASTM International
- [ASTM] American Society for Testing Material. 2003. ASTM D 3174: Test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke from Coal². West Conshoken (US): ASTM International
- [ASTM] American Society for Testing Material. 2003. ASTM D 3175: Test Method for Volatile Matter in the Analysis Sample of Coal and Coke². West Conshoken (US): ASTM International
- [BSN] Badan Standarisasi Nasional. 2014. Pelet kayu. Jakarta (ID): BSN
- Bahri S. 2007. Pemanfaatan Limbah Industri Pengelolaan Kayu untuk Pembuatan Briket Arang dalam Mengurangi Pencemaran Lingkungan di Nangroe Aceh Darussalam [Thesis]. Medan (ID): Universitas Sumatera Utara
- Bantacut T, Hendra D, Nurwigha R. 2013. Mutu biopelet dari campuran arang dan sabut cangkang sawit. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian* 23 (1): 1-12
- Basu P. 2010. *Biomass Gasification and Pyrolysis: Practical Design and Theory*. New York (US): Academic Press
- Castro DM, Uguna CN, Florentino L, Faes DE, Stevens LA, Barriocanal C, Snape CE. 2017. Evaluation of hydrochars from lignin hydrous pyrolysis to produce biocokes after carbonization. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 124: 724-751
- Chen D, Gao A, Cen K, Zhang J, Cao X, Ma Z. 2018. Investigation on biomass torrefaction based on three major components: hemicellulose, cellulose, and lignin. *Energy Conversion and Management* 169: 228-237
- Chen WH, Kuo PC. 2011. Torrefaction and co-torrefaction characterization of hemicellulosa, cellulose and lignin as well as terrefaction of some basic constituents in biomass. *Energy* 36(8): 3-11
- Cheng L, Adhikari S, Wang Z, Ding Y. 2015. Charactization of bamboo species at different ages and bio-oil production. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 116: 215-222
- Chew JJ, Doshi V. 2011. Recent advances in biomass pretreatment – torefaction fundamentals and technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15:4212-4222

- Cocchi M, Nikolaisen L, Junginger M, Goh CS, Heinimo J, Bradley D, Hess R, Jacobson J, Ovard LP, Thran D, Hennig C, Deutmeyer M, Schouwenberg PP and Marchal D. 2011. Global Wood Pellet Industry Market and Trade Study. Paris (FR): International Energy Agency
- Darmawan D. 2017. Karakteristik Bambu Sebagai Bahan Energi Biomassa [Skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor
- [FAO] Food and Agriculture Organization. 1998. FAOSTAT statistics database. Rome (IT): FAO <http://www.fao.org/faostat/> diakses pada tanggal 19 Agustus 2018
- Harun NY, Afzal MT. 2016. Effect of particle size on Mechanical properties of pellets made from biomass blends. *Procedia Engineering* 148: 93-99
- IEA. 2012. Technology Roadmap: Bioenergy for Heat and Power. Paris (FR): International Energy Agency
- Liliana W. 2010. Peningkatan Kualitas Biopellet Bungkil Jarak Pagar Sebagai Bahan Bakar melalui Teknik Karbonisasi [Thesis]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor
- Ma ZQ, Wang JH, Yang YY, Zhang Y, Zhao C, Yu YM, Wang S. 2018. Comparison of the thermal degradation behaviors and kinetics of palm oil waste under nitrogen and air atmosphere in TGA-FTIR with a complementary use of model-free and model-fitting approaches. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 134: 12-24
- Pattiya A. 2011. Thermochemical characterization of agricultural wastes from thai cassava plantations. *Energy Sources* 33:691-701
- Pranoto B, Pandin M, Fithri SR, Nasution S. 2013. Peta potensi limbah biomassa dan kehutanan sebagai basis data pengembangan energi terbarukan. *Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan* 12 (2): 123-130
- Putra HP, Mokodompit M, Kuntari AP. 2013. Studi karakteristik briket berbahan dasar limbah bambu dengan menggunakan perekat nasi. *Jurnal Teknologi* 2(6): 1116-1123
- Rohmatullah MA. 2014. Biopellet: Energi terbarukan dari batang kelapa sawit [Skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor
- Stahl M, Berghel J. 2011. Energy efficient pilot-scale production of wood fuel pellets made from a raw material mix including sawdust and rapeseed cake. *Biomass and Bioenergy* 35: 4849-4854
- [TAPPI] Technical Association of The Pulp and Paper Industry. 1996. *TAPPI test Methods*. Atlanta (GE): TAPPI Press
- Tumuluru JS, Wright CT, Hess JR, Kenney KI. 2015. A review of biomass densification system to develop uniform feedstock commodities for bioenergy application. *Biofuel Bioproduction Biofinering* 5: 683-707
- Yu H, Wu Z, Chen G. 2018. Catalytic gasification characteristic of cellulose, hemicellulose and lignin. *Renewable Energy* 121: 559-567

LAMPIRAN

Lampiran 1 Analisis ragam kerapatan biopelet fortifikasi

Sumber Keragaman	Derajat bebas (Db)	Jumlah kuadrat (JK)	Kuadrat tengah (KT)	F Hitung	Sig
Corrected Model	11	0.103 ^a	0.009	10.747	0.000
Intercept	1	55.015	55.015	63363.077	0.000
Jenis Fortifier	2	0.009	0.005	5.380	0.007
Jenis * Fortifier	3	0.063	0.021	24.367	0.000
Error	6	0.03	0.005	5.726	0.000
Total	72	0.063	0.001		
	84	55.18			

-Sig. lebih kecil dari 0.05, Ho ditolak (perbedaan jenis *fortifier* dan atau peningkatan proporsinya memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap kerapatan).

- Sig. lebih besar dari 0.05, Ho diterima (perbedaan jenis *fortifier* dan atau peningkatan proporsinya tidak memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap kerapatan).

Hasil uji lanjut Duncan

Interaksi	Ulangan	Rataan (N)	Kelompok Duncan
BBT*20%	7	0.7514	A
BBJ*10%	7	0.7614	AB
BST*10%	7	0.7614	AB
BBT*10%	7	0.7914	BC
BBT*30%	7	0.8	C
BST*20%	7	0.8029	C
BST*30%	7	0.8214	CD
BBJ*20%	7	0.8414	D
BBJ*30%	7	0.8429	D
BBJ*0%	7	0.8457	D
BST*0%	7	0.8457	D
BBT*0%	7	0.8457	D

Keterangan:

-Huruf pengelompokan Duncan yang sama menunjukkan faktor tidak berbeda nyata.

-Huruf pengelompokan Duncan yang sama menunjukkan faktor tidak berbeda nyata.

Lampiran 2 Analisis ragam kadar air biopellet fortifikasi

Sumber Keragaman	Derajat bebas (Db)	Jumlah kuadrat (JK)	Kuadrat tengah (KT)	F Hitung	Sig
Corrected Model	11	47.857 ^a	4.351	15.450	0.000
Intercept	1	262.764	262.764	933.157	0.000
Jenis	2	19.245	9.623	34.173	0.000
Fortifier	3	19.44	6.480	23.013	0.000
Jenis * Fortifier	6	9.172	1.529	5.429	0.001
Error	24	6.758	0.282		
Total	36	317.379			

-Sig. lebih kecil dari 0.05, Ho ditolak (perbedaan jenis *fortifier* dan atau peningkatan proporsinya memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap kadar air).

-Sig. lebih besar dari 0.05, Ho diterima (perbedaan perbedaan jenis *fortifier* dan atau peningkatan proporsinya tidak memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap kadar air).

Hasil uji lanjut Duncan

Interaksi	Ulangan	Rataan (N)	Kelompok Duncan
BBJ*0%	3	1.5533	A
BST*0%	3	1.5533	A
BBT*0%	3	1.5533	A
BST*30%	3	1.56	A
BBT*30%	3	2.1433	AB
BBT*20%	3	2.2	AB
BST*10%	3	2.4667	ABC
BBT*10%	3	2.7133	BC
BST*20%	3	3.29	CD
BBJ*30%	3	4	DE
BBJ*20%	3	4.46	E
BBJ*10%	3	4.9267	E

Keterangan:

- Huruf pengelompokan Duncan yang sama menunjukkan faktor tidak berbeda nyata.
- Huruf pengelompokan Duncan yang sama menunjukkan faktor tidak berbeda nyata.

Lampiran 3 Analisis ragam kadar abu biopelet fortifikasi

Sumber Keragaman	Derajat bebas (Db)	Jumlah kuadrat (JK)	Kuadrat tengah (KT)	F Hitung	Sig
Corrected Model	11	3.654 ^a	0.332	6.367	0.000
Intercept	1	278.723	278.723	5343.218	0.000
Jenis	2	0.251	0.126	2.406	0.112
Fortifier	3	3.147	1.049	20.107	0.000
Jenis * Fortifier	6	0.256	0.043	0.818	0.567
Error	24	1.252	0.052		
Total	36	283.629			

-Sig. lebih kecil dari 0.05, Ho ditolak (perbedaan jenis *fortifier* dan atau peningkatan proporsinya memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap kadar abu).

-Sig. lebih besar dari 0.05, Ho diterima (perbedaan jenis *fortifier* dan atau peningkatan proporsinya tidak memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap kadar abu).

Hasil uji lanjut Duncan

Interaksi	Ulangan	Rataan (N)	Kelompok Duncan
BBJ*0%	3	2.3433	A
BST*0%	3	2.3433	A
BBT*0%	3	2.3433	A
BBJ*10%	3	2.5567	A
BST*10%	3	2.7367	AB
BBT*10%	3	2.7533	AB
BBJ*30%	3	2.7733	AB
BBJ*20%	3	2.99	BC
BST*20%	3	2.9967	BC
BBT*20%	3	3.0967	BC
BST*30%	3	3.2233	C
BBT*30%	3	3.2333	C

Keterangan:

-Huruf pengelompokan Duncan yang sama menunjukkan faktor tidak berbeda nyata.

-Huruf pengelompokan Duncan yang sama menunjukkan faktor tidak berbeda nyata.

Lampiran 4 Analisis ragam kadar zat terbang biopelet fortifikasi

Sumber Keragaman	Derajat bebas (Db)	Jumlah kuadrat (JK)	Kuadrat tengah (KT)	F Hitung	Sig
Corrected Model	11	441.723 ^a	40.157	34.97	0.000
Intercept	1	204839.217	204839.2	178380.87	0.000
Jenis	2	137.545	68.773	59.889	0.000
Fortifier	3	213.763	71.254	62.051	0.000
Jenis * Fortifier	6	90.415	15.069	13.123	0.000
Error	24	27.56	1.148		
Total	36	205308.499			

-Sig. lebih kecil dari 0.05, Ho ditolak (perbedaan jenis *fortifier* dan atau peningkatan proporsinya memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap kadar zat terbang).

-Sig. lebih besar dari 0.05, Ho diterima (perbedaan jenis *fortifier* dan atau peningkatan proporsinya tidak memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap kadar zat terbang).

Hasil uji lanjut Duncan

Interaksi	Ulangan	Rataan (N)	Kelompok Duncan
BBT*30%	3	65.99	A
BBT*20%	3	71.57	B
BST*30%	3	73.83	C
BBT*10%	3	74.88	CD
BST*20%	3	75.45	CD
BBJ*20%	3	76.2267	DE
BBJ*30%	3	76.2633	DE
BST*10%	3	77.4233	EF
BBJ*10%	3	78.15	EF
BBJ*0%	3	78.4667	F
BST*0%	3	78.4667	F
BBT*0%	3	78.4667	F

Keterangan:

- Huruf pengelompokan Duncan yang sama menunjukkan faktor tidak berbeda nyata.
- Huruf pengelompokan Duncan yang sama menunjukkan faktor tidak berbeda nyata.

Lampiran 5 Analisis ragam kadar karbon terikat biopelet fortifikasi

Sumber Keragaman	Derajat bebas (Db)	Jumlah kuadrat (JK)	Kuadrat tengah (KT)	F Hitung	Sig
Corrected Model	11	381.235 ^a	34.658	3.4065	0.000
Intercept	1	17082.05	17082.05	16789.91	0.000
Jenis	2	128.623	64.311	63.211	0.000
Fortifier	3	168.037	56.012	55.054	0.000
Jenis * Fortifier	6	84.576	14.096	13.855	0.000
Error	24	24.418	1.017		
Total	36	17487.71			

-Sig. lebih kecil dari 0.05, Ho ditolak (perbedaan jenis *fortifier* dan atau peningkatan proporsinya memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap kadar karbon).

-Sig. lebih besar dari 0.05, Ho diterima (perbedaan jenis *fortifier* dan atau peningkatan proporsinya tidak memberikan pengaruh yang berbeda kadar karbon terikat).

Hasil uji lanjut Duncan

Interaksi	Ulangan	Rataan (N)	Kelompok Duncan
BBJ* 0%	3	19.1833	A
BST*0%	3	19.1833	A
BBT*0%	3	19.1833	A
BBJ*10%	3	19.2967	A
BST*10%	3	19.8433	AB
BBJ*20%	3	20.78	ABC
BBJ*30%	3	20.96	ABC
BST*20%	3	21.55	BCD
BBT*10%	3	22.3633	CD
BST*30%	3	22.9467	D
BBT*20%	3	25.3333	E
BBT*30%	3	30.7733	F

Keterangan:

-Huruf pengelompokan Duncan yang sama menunjukkan faktor tidak berbeda nyata.

-Huruf pengelompokan Duncan yang sama menunjukkan faktor tidak berbeda nyata.

Lampiran 6 Analisis ragam nilai kalor biopellet fortifikasi

Sumber Keragaman	Derajat bebas (Db)	Jumlah kuadrat (JK)	Kuadrat tengah (KT)	F Hitung	Sig
Corrected Model	11	828925.417 ^a	75356.856	1.984	0.078
Intercept	1	733082700.3	733082700.3	19300.04	0.000
Jenis	2	289929.5	144964.75	3.817	0.036
Fortifier	3	266772.306	88924.102	2.341	0.099
Jenis * Fortifier	6	272223.611	45370.602	1.194	0.343
Error	24	911603.333	37983.472		
Total	36	734823229			

-Sigma lebih kecil dari 0.05, Ho ditolak (perbedaan jenis *fortifier* dan atau peningkatan proporsinya memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap nilai kalor).

-Sigma lebih besar dari 0.05, Ho diterima (perbedaan jenis *fortifier* dan atau peningkatan proporsinya tidak memberikan pengaruh yang berbeda terhadap nilai kalor).

Hasil uji lanjut Duncan

Interaksi	Ulangan	Rataan (N)	Kelompok Duncan
BBJ*30%	3	4282.333	A
BBJ*10%	3	4320	A
BBT*10%	3	4341.667	A
BBJ*20%	3	4355	A
BST*10%	3	4447.333	AB
BST*20%	3	4559	AB
BBJ*0%	3	4590.667	AB
BST*0%	3	4590.667	AB
BBT*0%	3	4590.667	AB
BST*30%	3	4641	AB
BBT*20%	3	4653.333	AB
BBT*30%	3	4779.333	B

Keterangan:

- Huruf pengelompokan Duncan yang sama menunjukkan faktor tidak berbeda nyata.
- Huruf pengelompokan Duncan yang sama menunjukkan faktor tidak berbeda nyata.

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Padang pada tanggal 6 November 1995 oleh pasangan Arifin (Alm) dan Nurjanah. Sekolah dasar di SD Negeri 13 Surau Gadang diselesaikan pada tahun 2008, penulis melanjutkan ke SMP Negeri 29 Padang dan lulus di tahun 2011. Setelah lulus di SMA Negeri 1 Padang pada tahun 2014, penulis melanjutkan ke jenjang selanjutnya dan diterima di Institut Pertanian Bogor dengan Program Studi Hasil Hutan. Penulis lolos seleksi melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) dan memperoleh Beasiswa Bidik Misi. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dan belajar berorganisasi pada Perkumpulan Mahasiswa Pecinta Alam Institut Pertanian Bogor (LAWALATA IPB) dan berhasil melaksanakan Ekspedisi Wasur di Merauke, Papua di tahun 2015. Penulis juga bergabung dalam Himpunan Mahasiswa Hasil Hutan dan International Forestry Student Association Local Committee (IFSA LC IPB). Penulis mengikuti pertemuan tahunan pecinta alam se-Indonesia yaitu Temu Wicara Kenal Medan tahun 2016 di Karawang. Tahun 2017, penulis menjadi delegasi Asia Pacific Regional Meeting (APRM) di Bogor mewakili IFSA LC IPB dan kemudian berpartisipasi dalam Ekspedisi Pesisir Lampung Timur di Lampung bersama LAWALATA IPB. Disamping itu, penulis aktif mengikuti kompetisi menulis dan terutama kompetisi dibidang atletik baik tingkat fakultas, kampus, maupun nasional.

Selama menempuh pendidikan di Fakultas Kehutanan, penulis telah melaksanakan sederetan kegiatan praktik lapang. Praktik Umum Kehutanan pada tiga lokasi di Sukabumi antara lain: Cikepuh, Situgunung, dan Gunung Walat pada tahun 2016. Praktik Kerja Lapangan (PKL) telah dilaksanakan penulis pada tahun 2017 di PGT Cimanggu (KBM Industri Gondorukem dan Terpentin I) perum Perhutani Divisi GTD dan MKP Jawa Tengah. Fokus pengamatan penulis saat melangsungkan PKL adalah pengendalian mutu gondorukem. Pada bulan Februari hingga bulan Agustus 2018 penulis fokus melakukan penelitian untuk memenuhi tugas akhir sebagai persyaratan mendapatkan gelar Sarjana Kehutanan dengan judul Penelitian Biopellet Campuran Batang Singkong dan Bambu. Dalam melaksanakan penelitian, penulis dibimbing oleh Bapak Dr Ir Deded Sarip Nawawi MSc dan Bapak Santiyo Wibowo STP MSi.