

Karakteristik Kimia Biomassa untuk Energi *(Chemical Characteristics of Biomass for Energy)*

Deded S Nawawi*, Anne Carolina, Tasya Saskia, Deni Darmawan, Siti L Gusvina,
Nyoman J Wistara, Rita K Sari, Wasrin Syaffii

Departemen Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor
Kampus IPB Darmaga Bogor 16680

*Penulis korespondensi: dsnawawi@apps.ipb.ac.id

Abstract

The chemical components of biomass were composed mainly by three elements, i.e. carbon, hydrogen, and oxygen. These elements composition may contribute to proximate properties and calorific value of biomass. Characterization of wood, wood bark, and bamboos biomass and its relation to biomass quality for energy were carried out based on their chemical components contents. The analyses of chemical components of biomass were performed according to Technical Association of Pulp and Paper Industry (TAPPI) standard and proximate analysis was carried out according to American Society for Testing and Materials (ASTM) standard. The characteristics of biomass for energy could be evaluated based on its chemical components; especially by cellulose/lignin ratio (C/L) and hemicellulose/lignin ratio (H/L). Generally, appropriate quality of lignocellulose biomass for energy tend to exhibit low C/L and H/L ratios, that is due to obtain low volatile content and high calorific value. Lignin seems to be the most responsible chemical component for high calorific value of biomass. The classification of biomass based on the chemical components ratios would be applicable for biomass with less heterogeneity in ash content and in the quite similar extractives content.

Keywords: biomass energy, calorific value, chemical component, cellulose/lignin ratio, hemicellulose/lignin ratio

Abstrak

Komponen kimia kayu biomassa disusun terutama oleh unsur karbon, hidrogen, dan oksigen. Komposisi unsur tersebut berpengaruh terhadap sifat proksimat dan nilai kalor biomassa. Karakterisasi biomassa kayu, kulit kayu, dan bamboo dan korelasinya dengan mutu biomassa untuk bahan energi telah dilakukan berdasarkan kadar komponen kimia dan sifat proksimatnya. Analisis kadar komponen kimia dan proksimat biomassa merujuk masing-masing pada standard *Technical Association of Pulp and Paper Industry* (TAPPI) dan standar *American Society for Testing and Materials* (ASTM). Karakteristik biomassa untuk energi dapat dievaluasi berdasarkan kadar komponen kimianya, terutama nisbah selulosa terhadap lignin (S/L) dan nisbah hemiselulosa terhadap lignin (H/L). Secara umum, biomassa berlignoselulosa yang sesuai untuk bahan energi memiliki nisbah S/L dan H/L rendah karena akan memiliki nilai kalor tinggi dan zat volatil rendah. Lignin merupakan komponen kimia biomassa yang menentukan nilai kalor biomassa. Klasifikasi biomassa berdasarkan nisbah komponen kimianya dapat dipalिकासikan terutama untuk biomassa dengan keragaman kadar abu dan ekstraktif rendah.

Kata kunci: energi biomassa, komponen kimia, nilai kalor, nisbah hemiselulosa/lignin, nisbah selulosa/lignin

Pendahuluan

Penggunaan energi konvensional berbahan dasar fosil semakin terbatas karena tingginya peningkatan konsumsi dan ketersediannya yang tidak terbarukan. Oleh sebab itu, pencarian dan pengembangan energi alternatif terbarukan menjadi salah satu solusi pemenuhan energi ke depan. Biomassa merupakan salah satu sumber energi alternatif yang sangat potensial karena sifatnya terbarukan dan dapat dipanen dalam waktu relatif singkat antara 5-10 tahun (FAO 2001) serta akan lebih singkat pada daur berikutnya dengan menggunakan sistem trubusan (*short rotation coppice system*). Kelemahan utama dari biomassa adalah karakteristik dasarnya yang sangat beragam dan akan sangat berpengaruh pada mutu produk konversi energi.

Berdasarkan diagram Van Krevelen (Basu 2010), biomassa dapat diklasifikasikan berdasarkan nisbah unsur penyusunnya yaitu karbon (C), oksigen (O), dan hidrogen (H). Ketiga unsur utama penyusun biomassa tersebut merupakan elemen dasar komponen kimia biomassa yaitu selulosa, hemiselulosa, dan lignin. (Fengel & Wegener 1984). Berdasarkan komponen kimia penyusunnya, biomassa memiliki keragaman kadar komponen kimia tinggi; selulosa 40-50%, hemiselulosa 20-30%, lignin 15-35%, dan zat ekstraktif 1-15% (Fengel & Wegener 1984, Rowell 2005) yang akan berimplikasi terhadap keragaman nisbah unsur karbon, hydrogen, dan oksigen dalam biomassa. Perbedaan signifikan kadar komponen kimia biomassa menyebabkan keragaman mutu produk konversi energi yang dihasilkan.

Lignin adalah komponen kimia yang kaya unsur karbon dengan kadar oksigen

rendah (Fengel & Wegener 1984), sehingga lignin memiliki nisbah oksigen-karbon (O/C) dan nisbah hidrogen-karbon (H/C) lebih rendah dibandingkan dengan selulosa dan hemiselulosa (Basu 2010). Oleh sebab itu lignin memiliki nilai kalor lebih tinggi dibandingkan dengan selulosa dan hemiselulosa. Lignin memiliki nilai kalor sekitar 30% lebih tinggi dibandingkan dengan selulosa (White 1987). Adanya keterkaitan antara proporsi unsur penyusun antar komponen kimia biomassa dengan karakteristik biomassa sebagai bahan energi, maka penilaian bahan energi biomassa dapat didasarkan pula pada kadar komponen kimianya. Basu (2010) melaporkan bahwa biomassa kayu memiliki kisaran nisbah oksigen-karbon (O/C) sekitar 0,4-0,9 dan hidrogen-karbon (H/C) sekitar 1,2-1,7; sedangkan nisbah selulosa-lignin (S/L) dan hemiselulosa-lignin (H/L) biomassa kayu masing-masing berkisar 1,1-2,6 dan 0,4-1,8.

Potensi biomassa limbah kayu, kulit kayu, dan bambu sangat besar dan belum dimanfaatkan secara optimal. Kulit kayu berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bioenergi unggul karena kulit kayu umumnya mengandung kadar lignin tinggi (Harun & Labosky 1983, Narasimhachari & Rudolf 1961, Lambert 1981) dan biomassa berkadar lignin tinggi cenderung memiliki nilai kalor tinggi (White 1987). Sementara itu, bambu merupakan biomassa hasil hutan terbesar kedua setelah kayu. Indonesia memiliki sekitar 160 jenis bambu (Dansfield & Widjaja 1995, Widjaja *et al.* 2004) dan umumnya masih kategori bahan yang belum digunakan secara intensif seperti halnya kayu. Karakteristik kimia bambu umumnya hampir sama dengan kayu yang disusun oleh selulosa, hemiselulosa, lignin, dan

zat ekstraktif (Wahab *et al.* 2013, Kamthai & Puthson 2005, Nugroho *et al.* 2013), sehingga bambu berpotensi untuk berbagai produk menggantikan bahan baku kayu seperti untuk energi biomassa (Yuan *et al.* 2017). Studi ini bertujuan untuk menguji karakter kimia biomassa lima jenis kayu, kulit kayu dan bambu sebagai dasar penilaian mutu bahan energi biomassa.

Bahan dan Metode

Penyiapan bahan

Biomassa hasil hutan yang diteliti adalah kayu dan kulit kayu jenis pinus (*Pinus merkusis*), jati (*Tectona grandis*), mangium (*Acacia mangium*), sengon (*Paraserianthes moluccana*), mindi (*Melia azedarach*), dan biomassa bambu ampel (*Bambusa vulgaris*), bambu andong (*Gigantochloa pseudoarundinaceae*), bambu betung (*Dendrocalamus asper*), bambu apus (*G. apus*), bambu ater (*G. atter*). Sampel uji untuk analisis kimia dan proksimat berbentuk partikel berukuran 40-60 mesh melalui proses penggilingan dan fraksinasi partikel. Sebelum analisis komponen kimia, serbuk bahan diekstraksi dengan campuran pelarut ethanol-benzena 1:2 v/v selama 8 jam.

Penentuan kadar komponen kimia

Analisis kadar komponen kimia mengacu pada standard *Technical Association of Pulp and Paper Industry* (TAPPI 1996) untuk penyiapan sampel analisis kimia, kadar lignin dan zat ekstraktif. Kadar holoselulosa, selulosa, dan hemiselulosa diuji berdasarkan metode Browning (1967).

Analisis proksimat

Nilai kalor diukur dengan alat bomb calorimeter dan dinyatakan dalam

kilokalori per kilogram kayu. Kadar air, kadar zat terbang, dan kadar abu diuji berdasarkan *American Standard Testing and Materials* (ASTM 2007, 2013) untuk pengujian bahan energi biomassa. Kadar karbon terikat merupakan kandungan karbon dalam sampel selain fraksi zat terbang dan abu.

Hasil dan Pembahasan

Sifat kimia

Kadar komponen kimia beragam antar kelompok jenis biomassa kayu, kulit kayu, dan bambu; serta antar jenis kayu dan jenis bambu (Tabel 1). Keragaman kadar komponen kimia biomassa bambu relatif paling kecil dibandingkan dengan biomassa kayu dan kulit kayu sehingga akan memiliki karakteristik proksimat sebagai bahan energi tidak terlalu jauh berbeda. Keragaman kadar komponen kimia tinggi terjadi antar biomassa kulit kayu sehingga akan berpengaruh terhadap sangat beragamnya karakteristik kulit kayu sebagai bahan energi.

Biomassa kayu dan bambu memiliki kadar holoselulosa (selulosa dan hemiselulosa) lebih tinggi dibandingkan dengan biomassa kulit kayu. Karakteristik biomassa seperti itu berpotensi baik untuk bahan energi berdasar karbohidrat seperti bioetanol. Glukosa merupakan jenis gula utama penyusun polisakarida dinding sel biomassa lignoselulosa yang terutama berada dalam selulosa dan sebagian hemiselulosa (Fengel & Wegener 1984). Kadar polisakarida, khususnya hemiselulosa, tinggi dalam komponen kimia dinding sel biomassa tidak dikehendaki dalam penggunaan energi dalam bentuk solid. Karbohidrat berkontribusi terhadap pembentukan zat terbang dan dapat mengurangi nilai kalor bersih dari pembakaran biomassa.

Tabel 1 Kadar komponen kimia biomassa kayu, kulit kayu dan bambu

Jenis biomassa	Kadar komponen kimia, %										
	HS	AS	HS	LK	ASL	KAP	KAD	KSH	KEB	S/L	H/L
Kayu											
Mindi	72,65	36,12	36,53	24,33	1,84	4,91	4,81	13,47	4,74	1,48	1,50
Sengon	73,19	41,15	32,03	24,34	1,08	5,75	4,93	17,26	5,83	1,69	1,32
Pinus	73,23	48,18	25,05	27,88	0,34	4,02	2,58	12,75	4,03	1,73	0,89
Mangium	71,39	35,14	36,25	32,68	2,04	7,31	6,97	20,60	8,01	1,08	1,11
Jati	71,67	40,60	31,07	28,23	1,92	8,43	8,63	16,04	6,91	1,44	1,10
Kulit kayu											
Mindi	51,94	27,76	24,17	31,69	0,58	13,82	12,88	41,10	13,97	0,88	0,76
Sengon	54,54	27,97	26,57	36,18	1,24	12,68	9,71	32,43	5,71	0,77	0,73
Pinus	36,20	15,59	20,61	50,96	0,59	9,44	5,23	41,97	8,46	0,31	0,40
Mangium	58,39	31,72	26,66	42,86	2,07	16,41	14,89	42,24	14,92	0,74	0,62
Jati	54,32	32,26	22,06	25,70	1,78	13,44	11,23	33,42	7,80	1,26	0,86
Bambu											
Mayan	70,52	45,78	24,72	27,14	0,64	7,98	7,01	19,01	13,97	1,69	0,91
Ampel	75,28	39,10	36,18	23,55	0,91	7,36	6,11	25,34	12,82	1,66	1,54
Tali	73,19	45,63	27,56	24,61	0,66	9,17	6,88	21,32	12,63	1,85	1,12
Betung	74,70	41,92	32,78	24,46	1,99	12,42	8,89	25,33	9,57	1,71	1,34
Gombong	73,66	45,78	27,87	26,20	2,05	8,47	8,42	21,66	7,27	1,75	1,06

Keterangan: HS=Holoselulosa, AS= α -selulosa, HS=Hemiselulosa, LK=Lignin klason, ASL=Acid-soluble lignin, KAP=Kelarutan dalam air panas, KAD=Kelarutan dalam air dingin, KSH=Kelarutan dalam sodium hidroksida 1%, KEB=Kelarutan dalam etanol/benzena 1:2.

Biomassa kulit kayu memiliki kadar lignin lebih tinggi dibandingkan biomassa kayu dan bambu (Tabel 1). Polimer lignin memiliki kadar karbon lebih tinggi dibandingkan dengan polisakarida (selulosa dan hemiselulosa) sehingga akan berkontribusi besar terhadap nilai kalor pembakaran biomassa. Lignin memiliki nisbah O/C dan H/C rendah, dan kedua nisbah tersebut lebih rendah dibandingkan dengan selulosa. Hal tersebut menyebabkan lignin memiliki nilai kalor lebih tinggi dibandingkan dengan selulosa (Basu 2010, White 1987). Perbedaan komposisi komponen selulosa, hemiselulosa, dan lignin dalam biomassa menyebabkan keragaman karakteristiknya sebagai bahan bioenergi.

Sifat proksimat

Karakteristik biomassa untuk energi dapat diduga dengan sifat proksimat, yaitu kadar zat terbang, karbon terikat,

kadar air, dan kadar abu. Berdasarkan Tabel 2, sebagian besar biomassa kayu, bambu, dan kulit kayu memiliki karakteristik yang baik untuk bahan energi dengan nilai kalor sekitar 4000 kkal kg^{-1} . Berdasarkan sifat proksimatnya, biomassa bermutu baik memiliki kadar karbon terikat tinggi, zat terbang dan abu rendah (Basu 2010). Menurut Fuwafe *et al.* (1997), biomassa umumnya menghasilkan zat terbang sekitar 75-85% dan sisanya merupakan karbon terikat dan abu. Karbon terikat merupakan komponen paling menentukan terhadap nilai kalor biomassa dan kadarnya dalam biomassa berkorelasi positif dengan nilai kalor (Basu 2010). Menurut Stahl *et al.* (2004), biomassa untuk bahan energi diharapkan memiliki kadar karbon terikat minimal 16%. Kadar lignin sangat menentukan nilai kalor biomassa melalui kontribusi positifnya terhadap kadar karbon terikat (White 1998).

Tabel 2 Sifat proksimat biomassa kayu, kulit kayu dan bambu

Jenis Biomassa	Kadar air, %	Zat terbang, %	Kadar abu, %	Karbon terikat, %	Nilai kalor, kkal kg ⁻¹	Nilai kalor pada KA 8%
Kayu						
Mindi	10,35	77,85	0,69	21,47	3768	3883
Sengon	8,25	82,77	0,76	16,47	3750	3750
Pinus	9,85	79,75	0,34	19,91	4347	4442
Mangium	12,50	75,88	1,94	22,19	3874	4099
Jati	8,84	80,05	1,40	18,56	4155	4155
Kulit Kayu						
Mindi	10,53	69,41	3,75	26,85	4024	4149
Sengon	10,89	70,10	4,56	25,34	3959	4104
Pinus	9,61	68,12	0,91	30,97	4199	4279
Mangium	11,62	69,96	4,31	25,73	4043	4223
Jati	12,71	70,01	6,84	23,15	3665	3900
Bambu						
Mayan	6,91	75,03	0,62	24,39	4226	4171
Ampel	8,65	69,80	1,35	28,85	4207	4207
Tali	7,43	65,75	2,57	31,68	4074	4044
Betung	13,01	66,33	1,15	32,52	4327	4577
Gombong	7,31	74,39	1,49	24,11	4006	3971

Keterangan: Koreksi nilai kalor pada kondisi kadar air (KA) 8% merujuk pada Ezeike (1983) yang merupakan nilai rata-rata dari persamaan $y=17831-186,52x$ ($R=0,91$ untuk jenis *hardwood*), dan $y=16769-206,79x$ ($R=0,93$ untuk jenis *softwood*); nilai kalor dalam KJ kg⁻¹

Berdasarkan Tabel 2, nilai kalor biomassa kulit kayu dan bambu lebih tinggi dibandingkan dengan biomassa kayu dan dipengaruhi oleh tingginya kadar karbon terikat dan rendahnya kadar zat terbang. Kadar karbon terikat sering dikaitkan dengan kadar dan komposisi lignin, walaupun nilai kalor biomassa bersih dipengaruhi juga oleh kadar karbon berasal dari selulosa dan zat ekstraktif. Lignin memiliki nilai kalor sekitar 5600-6200 kkal kg⁻¹, sedangkan nilai kalor selulosa sekitar 4500 kkal kg⁻¹ (Demirbas 1998). Sementara itu, tingginya nilai kalor bambu dan kulit kayu dipengaruhi juga oleh tingginya kadar zat ekstraktif terlarut etanol/benzena, seperti minyak, lemak, resin yang memiliki kadar karbon tinggi (Fengel & Wegener 1984).

Lignin kayu daun jarum cenderung memiliki karbon terikat lebih tinggi dan menghasilkan zat volatil lebih rendah

dibandingkan dengan lignin kayu daun lebar. Kayu pinus memiliki nilai kalor lebih tinggi dibandingkan dengan jenis kayu mangium dan jati (Tabel 2), walaupun kayu pinus memiliki kadar lignin lebih rendah dibandingkan dengan kayu mangium dan jati (Tabel 1). Kayu pinus termasuk jenis kayu daun jarum dengan komposisi terdiri atas unit guaiasil dan *p*-hidroksifenil (Akiyama *et al.* 2005, Nawawi *et al.* 2017), sedangkan kayu mangium, jati, mindi dan sengon termasuk ke dalam jenis kayu daun lebar. Lignin jenis kayu daun jarum memiliki kadar karbon lebih tinggi dan kadar oksigen lebih rendah dibandingkan dengan lignin kayu daun lebar (Fengel & Wegener 1984).

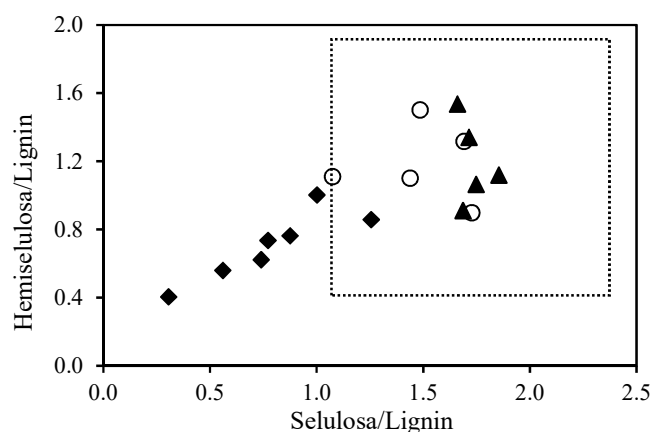
Nisbah komponen kimia dan karakteristik biomassa untuk energi

Unsur utama penentu nilai kalor bahan bakar adalah karbon. Dalam biomassa,

unsur karbon terutama berada dalam komponen kimia dinding sel yaitu selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Analogi dengan diagram van Krevelen (Basu 2010), penilaian karakteristik biomassa untuk bahan energi dapat didasarkan pada komponen kimianya. Lignin merupakan komponen kimia dinding sel dengan kadar karbon tinggi dan kadar oksigen rendah (Fengel & Wegener 1984), sedangkan selulosa memiliki kadar karbon lebih tinggi dan kadar oksigen lebih rendah dibandingkan dengan hemiselulosa disebabkan adanya struktur kristalin dalam polimer selulosa.

Berdasarkan nisbah S/L dan H/L, biomassa lima jenis kayu dan bambu berada dalam kelompok yang sama (Gambar 1). Kisaran nisbah biomassa kayu dan bambu tersebut (S/L: 1,08-1,85 dan H/L: 0,89-1,54) berada dalam kisaran nisbah S/L dan H/L biomassa berbagai jenis kayu (Basu 2010). Keragaman nisbah S/L tinggi ditemukan pada biomassa kulit kayu dengan kisaran S/L=0,31-1,26; sedangkan keragaman nisbah H/L relatif kecil (H/L =0,40-0,86 (Tabel 1 dan Gambar 1). Hal tersebut akan berimplikasi pada keragaman nilai kalor biomassa kulit kayu (Tabel 2).

Nisbah S/L dan H/L biomassa kulit kayu lebih kecil dibandingkan dengan biomassa bambu akan tetapi nilai kalornya tidak jauh berbeda dibandingkan dengan biomassa bambu. Kadar abu tinggi dalam biomassa kulit kayu dapat menjadi salah faktor penyebab nilai kalor rendah. Bahan mineral dalam biomassa tidak berkontribusi terhadap nilai kalor dan dapat menurunkan nilai kalor bersih pembakaran bahan energi (Basu 2010). Kulit kayu memiliki kadar abu (rata-rata 4,07%) lebih tinggi dibandingkan dengan bambu (rata-rata 1,44%). Kulit kayu umumnya memiliki kadar abu lebih tinggi dibandingkan dengan biomassa kayu (Fengel & Wegener 1984) yang selain dapat menurunkan nilai kalor juga dapat mengganggu dalam proses gasifikasi biomassa (Basu 2010). Selain itu, tingginya kadar zat ekstraktif biomassa bambu dapat meningkatkan nilai kalor. White (1987) melaporkan bahwa terdapat korelasi positif antara kadar lignin dan zat ekstraktif dengan nilai kalor dan kadar lignin dapat digunakan untuk menduga nilai kalor pada kondisi biomassa bebas zat ekstraktif.



Gambar 1 Nisbah S/L dan H/L biomassa; (◆) kulit kayu, (○) kayu, (▲) bambu, dan (⊖) kisaran S/L dan H/L biomassa kayu menurut Basu (2010).

Kesimpulan

Biomassa kayu, kulit kayu dan bambu memiliki karakteristik baik untuk bahan energy dengan kisaran nilai kalor kayu (3750-4442 kkal kg⁻¹), kulit kayu (3900-4279 kkal kg⁻¹), dan bambu (3971-4577 kkal kg⁻¹). Kayu dan kulit kayu pinus serta bambu betung memiliki nilai kalor tertinggi untuk masing-masing kelompok biomassa. Kekurangan kulit kayu dibandingkan dengan biomassa kayu dan bambu adalah kulit kayu memiliki kadar abu tinggi. Pada setiap kelompok biomassa, terdapat kecenderungan biomassa dengan nisbah S/L dan H/L rendah memiliki nilai kalor tinggi. Penilaian biomassa untuk energi dapat dievaluasi berdasarkan nisbah selulosa terhadap lignin (S/L) dan nisbah hemiselulosa terhadap lignin (H/L) khususnya pada kondisi kadar abu dan zat ekstraktif hampir sama.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Kepada Masyarakat Ditjen Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi yang telah membiayai penelitian ini melalui skim Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi Institut Pertanian Bogor (IPB) tahun 2017.

Daftar Pustaka

- Akiyama T, Goto H, Nawawi DS, Syafii W, Matsumoto Y, Meshitsuka G. 2005. Erythro/threo ratio of β -O-4 structures as an important structural characteristic of lignin. Part 4: Variation in the erythro/threo ratio in softwood and hardwood lignins and its relation to syringyl/guaiacyl ratio. *Holzforschung*. 59:276-281.
- [ASTM] American Society for Testing and Material. 2007. ASTM D-1102. *Test Method for Ash in Wood*. West Conshohocken: ASTM International.
- [ASTM] American Society for Testing and Material. 2013. ASTM E-871-82. *Test Method for Moisture in the Analysis of Particulate Wood Fuels*. West Conshohocken: ASTM International.
- [ASTM] American Society for Testing and Material. 2013. ASTM E-872-82. *Test Method for Volatile Matter in the Analysis of Particulate Wood Fuels*. West Coshohocken: ASTM International.
- Basu P. 2010. *Biomass Gasification and Pyrolysis: Practical Design*. New York: Elsevier.
- Browning BL. 1967. *Methods of Wood Chemistry*. New York: Interscience Publ.
- Cahyono TD, Coto Z, Febrianto F. 2008. Analisis nilai kalor dan kelayakan ekonomis kayu sebagai bahan bakar substitusi batu bara di pabrik semen. *Forum Pascasarjana*. 31(2):105-116.
- Demirbas A. 2001. Relationship between lignin content and heating values of biomass. *Energy Conserv Manag*. 42:183-188.
- Dransfield S, Widjaya EA. 1995. *Plant Resources of South-East Asia No 7: Bamboos*. Bogor: Yayasan PROSEA.
- Ezeike GOI. 1983. Determination of calorific values of some Nigerian biomass solid materials. *NIJOTECH*. 7(1):21-33.
- [FAO] Food Agricultural Organization. 2001. *Plantation and Wood Energy*.

- Working Paper FP/8. Rome: Forestry Department FAO.
- Fengel D, Wegener G. 1984. *Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions*. Berlin: Walter de Gruyter.
- Fuwape JA, Akindele SO. 1997. Biomass yield and energy value of some fast growing multipurpose trees in Nigeria. *Biomass Energy*. 12:101-106.
- Harun J, Labosky Jr.P. 1985. Chemical constituents of five northeastern bark. *J Wood Fiber Sci*. 17 (2):274-280.
- Kamthai S, Puthson P. 2005. The physical properties, fiber morphology and chemical composition of sweet bamboo (*Dendrocalamus asper* Backer). *Kasetsart J. Nat. Sci*. 39:581-587.
- Lambert MJ. 1981. *Inorganic Constituents in Wood and Bark of New South Wales Forest Tree Species*. Sydney: Forestry Commission of New South Wales.
- Narasimhachari N, Rudolff EV. 1961. The chemical composition of the wood and bark extractives of *Juntiperus horizontalis* moehtch. *J Chem*. 39:2572-2581.
- Nawawi DS, Syafii W, Tomoda I, Uchida Y, Akiyama T, Yokoyama T, Matsumoto Y. 2017. Characteristics and reactivity of lignin in Acacia and Eucalyptus woods. *J Wood Chem Technol*. 37:273-282.
- Nawawi DS, Akiyama T, Syafii W, Matsumoto Y. 2017. Characteristic of β -O-4 structures in different reaction wood lignins of *Eusideroxylon zwageri* T. et B. and for other woody species. *Holzforschung*. 71(1):11-20.
- Nugroho N, Bahtiar ET, Lestari DP, Nawawi DS. 2013. Variation of tensile strength and cell wall component of four bamboo species. *JITKT*. 11(2):140-152.
- Rowell RM, Rowell JS, Pettersen R, Han JS, Tsabalala A. 2015. *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites, Second Edition*. Florida: CRC Press.
- [TAPPI] Technical Association of the Pulp and Paper Industry. 1996. *TAPPI Test Methods*. Atlanta: TAPPI Press.
- Wahab R, Mustafa MT, Salam MA, Sudin M, Samsi HW, Rasat MSM. 2013. Chemical composition of four cultivated tropical bamboo in genus *Gigantochloa*. *J Agri Sci*. 5(8):66-75.
- White RH. 1987. Effect of lignin content and extractives on the higher heating value of wood. *J Wood Fiber Sci*. 19 (4):446-452.
- Wijaya EA, Utami NW, Saefudin. 2004. *Panduan Membudidayakan Bambu*. Bogor: LIPI.
- Yuan Z, Wen Y, Kapu NS, Beatson R, Martinez DM. 2017. A biorefinery scheme to fractionate bamboo into high-grade dissolving pulp and ethanol. *Biotechnol Biofuels*. 10(38): pp 1-16.
- Riwayat naskah:
Naskah masuk (*received*): 10 Oktober 2017
Diterima (*accepted*): 11 Desember 2017