

PENGARUH KADAR AIR TERHADAP KUALITAS PELET KAYU DARI SERBUK GERGAJIAN KAYU JABON DAN KETAPANG *(Effect of Moisture Content on the Quality of Wood Pellet Made from Jabon and Ketapang Sawdust)*

Ratri Yuli Lestari, I Dewa Gede Putra Prabawa, & Budi Tri Cahyana

Balai Riset dan Standardisasi Industri Banjarbaru
Jl. Panglima Batur Barat No. 2 Banjarbaru, Kalimantan Selatan, 70711
Telp. (0511)4774861, Fax. (0511)4772115
E-mail: ratri.y.lestari@gmail.com

Diterima 2 Oktober 2018, direvisi 13 November 2018, disetujui 26 November 2018

ABSTRACT

In the last few years, wood pellet demand has increased globally for residential purposes. In term of standard quality, wood pellet for residential purposes are tighter than industrial purposes. The wood pellet quality parameters are moisture changes in biomass, impacts on bulk density, and mechanical durability. This paper analyzes the effect of biomass moisture content (MC) into the quality of wood pellet made from jabon and ketapang sawdust to meet quality standard of ISO 17225-2. The pellet was grouped into three, based on MCs, i.e. <10% (air-dry), 15% and 20%. The sawdust was then pressed at 464.52 kg/cm², 150°C for 10 minutes. Analysis of variance (ANOVA) was conducted by Tukey and Homogeneity tests on results. The optimum wood pellet quality was assessed using scoring method. Results showed that wood pellet moisture content significantly increased pellet's durability and density. However, greater moisture content reduces volatile matter, calorific value, sulphur, and nitrogen content of the pellet. Pellets made from jabon and ketapang meet the wood pellet standard's thresholds of ISO 17225-2 for grade A1 and B. Both wood pellets were high in quality and suitable for non-industrial and residential purposes. Based on the scoring, the best wood pellets were made from jabon's sawdust at 20% moisture content and ketapang's sawdust at 15% moisture content. The pellets contained relatively high calorific value, low ash content, sulphur, nitrogen and metals, which meet wood pellet's requirement for residential use with less smoke and combustion residue.

Keywords: Density, durability, moisture content, residential, wood pellet

ABSTRAK

Permintaan pelet kayu dunia menunjukkan kecenderungan yang positif dari tahun ke tahun, terutama untuk kebutuhan rumah tangga. Pelet kayu untuk kebutuhan energi rumah tangga mempunyai standar kualitas tinggi. Kualitas pelet kayu salah satunya dipengaruhi oleh kadar air biomassa, yang mempengaruhi sifat densitas dan ketahanan pakai pelet. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kadar air biomassa pada kualitas pelet kayu jabon dan ketapang dibandingkan dengan standar mutu ISO 17225-2. Penelitian ini dilakukan dengan membuat pelet kayu dengan variasi kadar air biomassa <10% (kering udara), 15%, dan 20%. Pelet kayu dicetak pada tekanan 464,52 kg/cm², pada suhu 150°C, selama 10 menit. Keragaman data dianalisis menggunakan uji statistik ANOVA, uji lanjutan Tukey dan Homogeneity test. Penentuan pelet terbaik dilakukan dengan metode skoring. Hasil pengujian menunjukkan bahwa perubahan kadar air secara signifikan mampu menaikkan densitas dan ketahanan pakai, menurunkan kandungan zat terbang, kalori, sulfur, dan nitrogen. Pelet kayu yang dihasilkan secara umum memenuhi standar ISO 17225-2 untuk kategori A1 dan B. Pelet kayu dari jabon dan ketapang ini merupakan pelet berkualitas tinggi yang sesuai untuk penggunaan non-industri

dan rumah tangga. Berdasarkan hasil skoring, pelet terbaik dihasilkan dari serbuk kayu jabon dengan kadar air 20% dan ketapang pada kadar air 15%. Pelet mempunyai kadar kalori cukup tinggi untuk kebutuhan rumah tangga, serta mempunyai nilai kadar abu, sulfur, nitrogen, dan logam yang rendah sehingga relatif aman, serta tidak menimbulkan banyak asap dan sisa pembakaran.

Kata kunci: Densitas, ketahanan, kadar air, rumah tangga, pelet kayu

I. PENDAHULUAN

Pemanfaatan limbah biomassa sebagai bahan baku energi dapat dijadikan alternatif dalam pencapaian produksi bersih dan *zero waste* oleh perusahaan kayu. Secara nasional potensi limbah kayu yang potensial sebagai bahan baku pelet kayu dari pemanenan hutan alam sebesar 1,5 juta m³/tahun dan dari hutan tanaman sebesar 38,4 juta m³/tahun (Astana, Soenarno, & Endom, 2015). Bahan baku kayu bulat untuk industri gergajian pada tahun 2017 adalah 3.118.821,28 m³ (KLHK, 2018). Potensi limbah serbuk gergaji pada industri penggergajian adalah 18% dari bahan baku (Fakhri, Yohanes, & Riyawan, 2015), artinya terdapat potensi hingga 561.000 m³ serbuk gergaji yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pelet kayu. Apabila potensi ini dimanfaatkan tentu akan menambah nilai limbah.

Permintaan pelet kayu kualitas tinggi untuk kebutuhan rumah tangga meningkat dengan adanya kebijakan dari negara-negara maju untuk menggunakan bahan bakar terbarukan sebagai upaya untuk memenuhi Protokol Kyoto. Beberapa permasalahan yang dihadapi dalam penerapan kebijakan tersebut diantaranya adalah jaminan pasokan biomassa sebagai sumber bahan energi, teknologi proses untuk pra perlakuan dan pemampatan, serta peningkatan kualitas energi biomassa sehingga mampu memenuhi standar yang ditetapkan (Serrano, Monedero, Lapuerta, & Portero, 2011).

Pemanfaatan biomassa pelet sebagai pengganti bahan bakar fosil untuk kebutuhan rumah tangga dan kebutuhan energi skala kecil semakin meningkat. Di Indonesia, pemakaian pelet sebagian besar masih terbatas pada industri atau untuk ekspor, sedangkan untuk kebutuhan rumah tangga masih sangat kecil proporsinya. Hal ini berbeda dengan kecenderungan kebutuhan

pelet di dunia dimana permintaan pelet untuk keperluan rumah tangga (15,7 juta ton) lebih tinggi daripada permintaan untuk keperluan energi (9,6 juta ton) (Calderon, Gauthier, & Jossart, 2017). Negara Asia yang dominan dalam penggunaan pelet kayu adalah Jepang dan Korea. Indonesia dan Malaysia mengeksport pelet kayu ke Korea Selatan sebanyak 150.000 ton pada tahun 2014, namun angka ini masih jauh di bawah Vietnam dan Thailand yang mencapai 1 juta ton pada tahun yang sama (Thr  n et al., 2017).

Dengan semakin berkembangnya industri pelet, maka perlu disusun dan ditetapkan standar kualitas pelet yang diakui secara internasional yaitu ISO 17225 tahun 2014. Standar ini mencakup dua kelas kualitas pelet kayu yaitu pelet untuk komersial dan kebutuhan perumahan serta untuk industri (ISO 17225-2: 2014). Pelet untuk non-industri dibedakan dalam 3 kelas yaitu A1, A2, dan B, sedangkan untuk industri adalah kelas I1, I2, dan I3. Pelet kelas A1 adalah pelet kualitas terbaik berasal dari kayu murni, atau kayu yang tidak diperlakukan secara kimia dan memiliki kadar abu dan nitrogen yang rendah, sedangkan kategori A2 mempunyai nilai abu dan nitrogen yang lebih tinggi. Kelas B merupakan pelet yang berasal dari limbah hasil hutan berupa cabang, hasil sampingan, dan limbah produksi yang tidak terkontaminasi bahan kimia, dan kayu bekas pakai yang belum diperlakukan secara kimia.

Salah satu jenis bahan baku kayu yang dapat memenuhi persyaratan pelet kayu dengan kualitas tinggi ini adalah kayu jabon (*Anthocephalus cadamba*) dan ketapang (*Terminalia catappa*). Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan Lestari dan Prabawa (2018), pelet kayu jabon dan ketapang mempunyai nilai kadar abu, nitrogen, dan sulfur yang rendah serta mampu memenuhi kriteria pelet kayu kelas A1. Kekurangan yang terdapat pada pelet kayu yang dihasilkan adalah nilai ketahanan

pakai dan densitas yang masih di bawah standar. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kekuatan mekanis dan densitas pelet kayu adalah dengan meningkatkan kadar air pada bahan sebelum dilakukan peletisasi. Dengan penambahan air, karakteristik kimiawi pelet tidak banyak berubah dalam proses pembuatan pelet, sedangkan sifat fisika pelet seperti ketahanan pakai dan densitas sangat tergantung pada proses peletisasi.

Kadar air pada bahan baku biomassa yang digunakan untuk membuat pelet merupakan faktor penting yang mempengaruhi karakteristik pelet yang dihasilkan selain kadar abu dan ukuran partikel (Grover & Mishra, 1996). Penentuan kadar air bahan sangat penting dalam memproduksi pelet kayu sehingga mencapai kadar air yang sesuai nilai kesetimbangan (*equilibrium*). Hal ini penting untuk mencegah pelet mengembang karena lembap selama penyimpanan dan pengiriman, selain itu jika kadar airnya terlalu tinggi, pelet yang dihasilkan mudah diserang mikroorganisme dan jamur (Rudolfsson, 2016).

Air dapat berfungsi sebagai perekat dan juga pelumas dalam peletisasi. Kadar air yang terlalu tinggi dapat menyumbat mesin pencetak serta membutuhkan energi yang lebih banyak, akan tetapi kadar air yang tepat dapat membantu pembentukan perekat internal dari bahan lignoselulosa. Kandungan air dalam bahan yang didukung dengan panas akan membantu perubahan fisik dan mekanik dari bahan seperti pelunakan biomassa, denaturasi protein, gelatinisasi pati, dan kristalinisasi gula (Serrano et al., 2011).

Kadar air dapat membantu proses densifikasi dengan menurunkan suhu peralihan kaca, pembentukan ikatan jembatan padat, dan memperluas area kontak partikel sehingga meningkatkan ikatan antarpartikel dengan tekanan *van der Waals* (Grover & Mishra, 1996; Tumuluru, Wright, Hess, & Kenney, 2011). Kenaikan kadar air berpengaruh nyata terhadap jenis bahan baku yang digunakan, pada bahan tertentu durabilitas dan densitas akan naik seiring dengan kenaikan kadar air, meskipun akan kembali menurun pada kadar tertentu, sedangkan bahan lain tidak terpengaruh kualitasnya dengan penambahan kadar air. Namun, efek positif diperoleh dalam

penelitian sebelumnya yang mendapatkan kenaikan kualitas pelet dari B menjadi A1 dengan peningkatan kadar air (Monedero, Portero, & Lapuerta, 2015).

Hal ini juga sesuai dengan pernyataan Tumuluru et al. (2010), yang menegaskan bahwa kadar air dan suhu pengempaan akan berpengaruh secara signifikan terhadap sifat fisik pelet biomassa. Grover dan Mishra (1996) merekomendasikan rata-rata kadar air biomassa yang terbaik sebagai bahan baku pelet adalah 10-15%. Demikian halnya penambahan air pada pelet dari serbuk kayu pinus menghasilkan pelet dengan ketahanan pakai yang lebih baik pada kadar air 12%, kayu oak pada kadar air 10%, dan kayu maple pada kadar air 14% (Wilson, 2010). Untuk pembuatan pelet dengan *barley straw*, kadar air optimum pada pembuatan pelet adalah 19–23% dan menghasilkan ketahanan pakai yang baik (Serrano et al., 2011). Penelitian lebih terinci dilakukan oleh Matúš, Križan, Beniák, dan Šooš (2015), hasilnya menunjukkan bahwa kadar air serbuk gergaji norway spruce di bawah 11,7% menghasilkan densitas yang rendah serta mudah pecah, terbaik adalah pada kisaran 11,7–16,5%. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui pengaruh variasi kadar air bahan baku biomassa terhadap kualitas pelet kayu, terutama ketahanan pakai dan densitas, dibandingkan dengan standar mutu pelet kayu untuk non-industri dan kebutuhan rumah tangga yaitu ISO 17225-2.

II. BAHAN DAN METODE

A. Bahan

Bahan yang digunakan adalah limbah serbuk gergaji kayu jabon (*Anthocephalus cadamba*) dan ketapang (*Terminalia catappa*) berasal dari tempat industri penggergajian kayu di Kecamatan Cempaka, Kota Banjarbaru, Provinsi Kalimantan Selatan. Bahan dikeringkan pada udara terbuka (tanpa terpapar sinar matahari langsung) hingga kadar air bahan kurang dari 10%, kemudian disaring menggunakan ayakan 25 mesh untuk mendapatkan ukuran yang seragam. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Aneka Komoditi dan Laboratorium Proses, Balai Riset dan Standardisasi Industri Banjarbaru, Provinsi Kalimantan Selatan.

B. Metode

1. Pengaturan kadar air bahan baku

Bahan yang telah lolos saringan 25 mesh selanjutnya diukur kadar air awal (M_i). Serbuk kayu jabon mempunyai kadar air awal 7,35% dan kayu ketapang 7,60% (EN 14774-2: 2009). Masing-masing bahan dikondisikan kadar airnya (M_f) menjadi 15% dan 20% berat basah. Pengaruh kadar air bahan terhadap kualitas biopelet diamati pada variasi kadar air (M_f) kering udara, 15%, dan 20% berat basah. Pengaturan kadar air bahan dilakukan dengan penambahan akuades dengan perhitungan seperti Persamaan 1 (Coskun, Yalcin, & Ozarslan, 2006). Bahan yang telah ditambahkan akuades selanjutnya diaduk hingga homogen.

$$Q = \{W_i (M_f - M_i)\} / (100 - M_f) \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan:

Q = massa akuades yang ditambahkan (kg),

W_i = massa bahan yang digunakan (kg),

M_f = kadar air akhir bahan (%), dan

M_i = kadar air awal bahan (%).

2. Pembuatan pelet kayu

Bahan yang telah disiapkan dimasukkan ke dalam cetakan pelet yang memiliki diameter silinder 0,8 cm dan tinggi 10 cm (Gambar 1), kemudian dikempa dengan press hidrolik (Gambar 2) pada tekanan 464,52 kg/cm², pada suhu 150°C, selama 10 menit. Pelet kayu yang dihasilkan kemudian didinginkan pada ruang terbuka pada temperatur suhu 25–28°C untuk menstabilkan suhu pelet kayu, selanjutnya dikemas dan diuji sifat fisika-kimianya berdasarkan standar ISO 17225-2.

3. Analisis sifat fisik dan kimia biopelet

a. Pengujian dimensi

Masing-masing 10 biopelet jabon dan ketapang dipilih secara acak pada setiap perlakuan, kemudian dimensi lebar dan diameter dari setiap sampel diukur menggunakan jangka sorong, dan dihitung rata-rata lebar dan diameter yang dihasilkan (EN 16127: 2012).

b. Pengujian kadar air

Pengujian nilai kadar air dilakukan dengan metode gravimetri sesuai dengan EN 14774-2: 2009.

c. Pengujian kadar abu

Pengujian nilai kadar abu dilakukan dengan metode gravimetri sesuai dengan EN 14775: 2009.

d. Pengujian densitas (*Bulk density*)

Bulk density dihitung sebagai rasio berat berbanding volume biopelet dengan menggunakan persamaan 2 (EN 15103: 2009).

$$BD = m_b / V_b \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan:

BD = *Bulk Density* (kg/cm³),

m_b = berat sampel (g), dan

V_b = Volume sampel (cm³)

e. Pengujian ketahanan pakai (*Mechanical durability*)

Mechanical durability ditentukan dengan uji ayakan (*vibrating sieve*). Sebanyak 50 buah sampel pelet kayu ditimbang menggunakan neraca analitik, berat awal dicatat, kemudian sampel diletakkan pada *vibrating sieve* dengan ayakan berukuran *screen* 3,36 mm (6 mesh). Uji ketahanan pakai dilakukan selama 10 menit, kemudian sampel yang tertahan di ayakan ditimbang sebagai berat akhir, dan dihitung menggunakan persamaan 3 (Liu, Fei, Jiang, Cai, & Liu, 2014).

$$DU = 100 - \{(m_i - m_f) / m_i \times 100 \%\} \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan:

DU = *Mechanical durability* (%),

m_i = berat sampel awal (g), dan

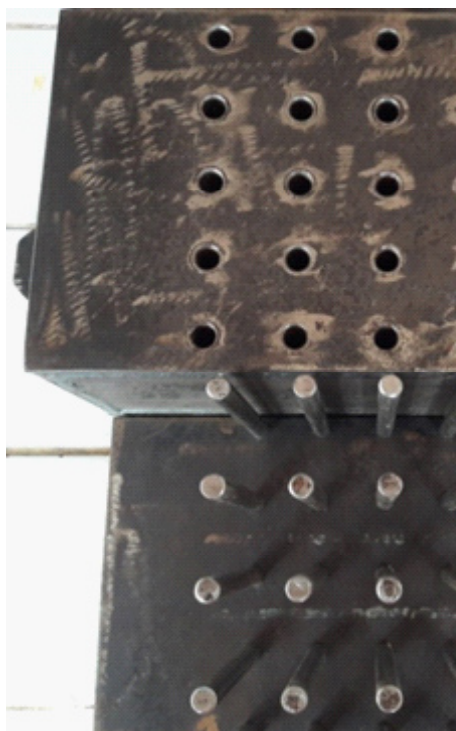
m_f = berat akhir sampel (g).

f. Pengujian nilai kalori (Q)

Nilai kalori pelet kayu diuji menggunakan bomb kalorimetri, dengan instrumentasi bomb kalorimeter tipe PARR 6400 (EN 14918: 2009).

g. Pengujian *volatile matter*

Pengujian nilai kadar zat terbang (*volatile matter*) dilakukan dengan metode gravimetri sesuai dengan ASTM D 5142-02.



Gambar 1. Cetakan pelet kayu
Figure 1. Wood pellet mold



Gambar 2. Mesin press hidrolik
Figure 2. Hydraulic press machine

- h. Pengujian emisi Nitrogen (N), Sulfur (S), dan Klorin (Cl_2)

Pengujian Nitrogen dilakukan menggunakan metode Kjeldahl sesuai dengan EN 15104. Sulfur diuji dengan metode turbidimetri menggunakan spektrofotometer Shimadzu UV-1800 pada panjang gelombang 420 nm (ASTM D516 – 02). Klorin diuji dengan metode N-dietil-p-fenilendiamin (DFD) dengan alat spektrofotometer pada panjang gelombang 515 nm (SNI 3554: 2015).

- i. Pengujian logam makro

Kandungan logam makro (K, Na, Mn, As, Cd, Cr, Cu, Pb, Ni, Zn, dan Hg) ditentukan dengan metode destruksi basah sesuai dengan EN 15290: 2011. Kandungan logam diukur menggunakan *atomic adsorption spectroscopy (AAS)* shimadzu AA-7000.

4. Analisa hasil uji

Hasil uji dianalisa menggunakan ANOVA (*analysis of variance*) dengan uji lanjutan Tukey dan *Homogeneity test*. Kualitas pelet terbaik ditentukan dengan metode skoring (Lamanda, Setyawati, Nurhaida, Diba, & Roslinda, 2015). Skor tertinggi

(3) diberikan pada kategori pelet A1, sedangkan skor terendah (0) pada kategori tidak memenuhi standar. Total skor tertinggi dipilih sebagai pelet dengan kualitas terbaik.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakteristik dan Kualitas Pelet Jabon dan Ketapang

Pelet kayu jabon dan ketapang yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4. Karakteristik dan kualitas pelet kayu jabon dan ketapang dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2. Pengujian kualitas pelet dilakukan untuk parameter densitas, ketahanan pakai, kadar air, kalori, kadar abu, kadar zat terbang, diameter, panjang, sulfur, nitrogen, klorin, dan logam K, Na, Mn, As, Cd, Cr, Cu, Pb, Ni, Zn, dan Hg. Berdasarkan hasil uji seluruh parameter telah memenuhi standar kecuali pada nilai sulfur dan dimensi panjang. Pelet yang dihasilkan dapat dikatakan sebagai pelet berkualitas tinggi.

Kualitas pelet kayu jabon dan ketapang secara umum memenuhi standar ISO 17225-2 untuk kelas A1 dan B. Berdasarkan hasil skoring, pelet dengan skor tertinggi adalah jabon 20% dan

ketapang 15% (Tabel 2). Pelet ini merupakan pelet kualitas tinggi untuk penggunaan di rumah tangga dengan kadar abu, sulfur, klorin dan nitrogen yang rendah. Pelet untuk keperluan rumah tangga mempunyai standar mutu yang tinggi, karena risiko pemakaian yang tinggi. Pelet untuk rumah tangga harus rendah polusi udara, menghasilkan panas yang sesuai, dan menghasilkan sisa pembakaran yang sedikit sehingga tidak menyebabkan kerusakan alat (Werkelin, Skrifvars, Zevenhoven, Holmbom, & Hupa, 2010). Kualitas pelet kayu jabon dan ketapang yang belum memenuhi syarat adalah nilai kalor yang melebihi standar dan panjang pelet yang di bawah standar. Nilai kalor yang terlalu tinggi dikhawatirkan mengakibatkan alat mengalami panas berlebihan (*overheat*).

Selain itu, pelet kayu dari ketapang tidak memenuhi syarat dikarenakan nilai sulfur yang melebihi standar yaitu 0,09–0,11%, sedangkan standar untuk kelas A1 dan A2 sebesar $\leq 0,04\%$ dan untuk kelas B $\leq 0,05\%$. Nilai sulfur ini lebih tinggi jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan kadar sulfur pada pelet kayu ketapang sebesar 0,04% (Lestari & Prabawa, 2018). Berdasarkan Tabel 1 dapat dilihat adanya kecenderungan penurunan kadar sulfur dengan bertambahnya kadar air pada serbuk gergaji. Berdasarkan hasil analisis statistik diperoleh bahwa kadar air berpengaruh signifikan terhadap kandungan sulfur dalam pelet, dimana kadar sulfur paling berbeda nyata terdapat pada pelet kayu dengan kadar air 20%. Artinya

penambahan kadar air membantu menurunkan kadar sulfur. Perlakuan awal diperlukan untuk menurunkan kadar sulfur pada serbuk gergaji ketapang supaya dapat diproduksi menjadi pelet kayu dengan kualitas A1, karena parameter yang tidak memenuhi standar terekam hanya pada kandungan sulfur, sedangkan pada parameter lain telah memenuhi standar kelas A1. Perlakuan awal yang dapat dilakukan untuk menurunkan sulfur diantaranya adalah metode ledakan uap (Biswas, Yang, & Blasiak, 2011) dan torrefaksi (Chew & Doshi, 2011).

B. Pengaruh Kadar Air terhadap Densitas dan Ketahanan Pakai

Nilai densitas dan ketahanan pakai dari pelet kayu yang dihasilkan memenuhi standar ISO 17225-2 untuk kelas A1 dan A2, kecuali pada pelet kayu ketapang pada kadar air kering udara. Nilai ketahanan pakai yang diperoleh pada pelet kayu ketapang pada kadar air kering udara adalah 94,93%, sedangkan standar minimal ketahanan pakai adalah 96,5%. Akan tetapi, menurut Miranda et al. (2015), secara umum ketahanan pakai dan densitas pelet yang dibuat dalam skala laboratorium memang rendah atau tidak memenuhi persyaratan dikarenakan keterbatasan alat yang digunakan dalam percobaan di laboratorium, meskipun demikian hal ini tidak menjadi kendala utama dalam produksi di pabrik karena permasalahan yang muncul biasanya dikarenakan tingginya kandungan abu pada pelet.



Gambar 3. Pelet kayu jabon: A (kondisi kering udara), B (kadar air 15%), dan C (kadar air 20%)

Figure 3. Jabon wood pellet: A (air dry condition), B (15% MC) and C (20% MC)



Gambar 4. Pelet kayu ketapang: D (kondisi kering udara), E (kadar air 15%), dan F (kadar air 20%)

Figure 4. Ketapang wood pellet: D (air dry condition), E (15% MC) and F (20% MC)

Tabel 1. Kualitas pelet kayu jabon dan ketapang
Table 1. The quality of wood pellet jabon and ketapang

Parameter (Parameters)	Satuan (Unit)	J0	J15	J20	K0	K15	K20	ISO 17225-2		
								A1	A2	B
Ketahanan pakai (Durability)	%	96,71	96,50	97,61	94,93	99,09	99,27	≥ 97,5		≥ 96,5
Densitas (Bulk density)	kg/m ³	1.037,44	1.069,85	1.072,06	976,98	1.043,56	1.005,20		≥ 600	
Nilai kalor (Net calorific value)	J	19.194,38	19.011,37	18.755,86	18.639,31	18.528,65	18.316,92	16.500 ≤ Q ≤ 19.000	16.300 ≤ Q ≤ 19.000	16.000 ≤ Q ≤ 19.000
Kadar air (Moisture content)	%	5,75	5,13	5,35	5,96	6,78	7,87	≤ 10		
Kadar abu (Ash content)	%	0,55	0,59	0,59	0,51	0,60	0,50	≤ 0,7	≤ 1,2	≤ 2,0
Zat terbang (Volatile Matter)	%	85,46	86,08	86,46	85,27	84,62	83,97	-		
Diameter (Diameter)	mm	8,30	8,30	8,30	8,33	8,30	8,30		6 atau 8	
Panjang (Length)	mm	28,00	30,47	29,60	29,83	30,50	29,67		3,15 ≤ L ≤ 40,0	
N	%	0,12	0,12	0,04	0,26	0,23	0,22	≤ 0,3	≤ 0,5	≤ 1
Cl	ppm	0,06	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	≤ 200		≤ 300
S	%	0,02	0,03	0,01	0,11	0,11	0,09	≤ 0,04		≤ 0,05
K	mg/kg	348,64	198,05	212,58	405,85	495,27	388,61	-	-	-
Na	mg/kg	21,98	28,22	36,26	105,11	127,21	69,74	-	-	-
Mn	mg/kg	10,91	16,77	29,74	41,34	71,62	48,56	-	-	-
As	mg/kg	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	≤ 1	≤ 1	≤ 1
Cd	mg/kg	0,04	<0,0010	0,03	0,06	0,00	0,03	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5
Cr	mg/kg	2,51	0,67	1,03	0,07	0,77	0,48	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Cu	mg/kg	1,66	1,20	0,92	1,72	2,21	2,01	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Pb	mg/kg	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Ni	mg/kg	3,58	2,83	1,66	0,36	0,67	<0,0010	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Zn	mg/kg	10,06	18,26	12,76	13,12	25,95	37,05	≤ 100	≤ 100	≤ 100
Hg	mg/kg	0,01	0,01	<0,045ppb	0,01	0,01	<0,045ppb	≤ 0,05	≤ 0,05	≤ 0,05

Keterangan (Remarks): J = jabon; K = ketapang; 0 = kadar air kering udara <10% (air dry moisture content <10%); 15 = kadar air 15% (15% moisture content); 20 = kadar air 20% (20% moisture content). A1, A2, B = kategori pelet kayu sesuai ISO 17225-2 (Wood pellet grades according to ISO 17225-2)

Tabel 2. Skoring kualitas pelet kayu jabon dan ketapang berdasarkan ISO 17225-2
 Table 2. Scoring the quality of jabon and ketapang wood pellet based on ISO 17225-2

Parameter (Parameters)	Satuan (Unit)	J0	J15	J20	K0	K15	K20
Ketahanan pakai (<i>Durability</i>)	%	B ¹	B ¹	A1 ³	B ¹	A1 ³	A1 ³
Densitas (<i>Bulk density</i>)	kg/m ³	A1 ³	A1 ³	A1 ³	A1 ³	A1 ³	A1 ³
Nilai kalor (<i>Net calorific value</i>)	J	X ⁰	X ⁰	A1 ³	A1 ³	A1 ³	A1 ³
Kadar air (<i>Moisture content</i>)	%	A1 ³	A1 ³	A1 ³	A1 ³	A1 ³	A1 ³
Kadar abu (<i>Ash content</i>)	%	A1 ³	A1 ³	A1 ³	A1 ³	A1 ³	A1 ³
Diameter (<i>Diameter</i>)	mm	A1 ³	A1 ³	A1 ³	A1 ³	A1 ³	A1 ³
Panjang (<i>Length</i>)	mm	X ⁰	X ⁰	X ⁰	X ⁰	A1 ³	X ⁰
N	%	A1 ³	A1 ³	A1 ³	A1 ³	A1 ³	A1 ³
Cl	ppm	A1 ³	A1 ³	A1 ³	A1 ³	A1 ³	A1 ³
S	%	A1 ³	A1 ³	A1 ³	X ⁰	X ⁰	X ⁰
K	mg/kg	A1 ³	A1 ³	A1 ³	A1 ³	A1 ³	A1 ³
Na	mg/kg	A1 ³	A1 ³	A1 ³	A1 ³	A1 ³	A1 ³
Mn	mg/kg	A1 ³	A1 ³	A1 ³	A1 ³	A1 ³	A1 ³
As	mg/kg	A1 ³	A1 ³	A1 ³	A1 ³	A1 ³	A1 ³
Cd	mg/kg	A1 ³	A1 ³	A1 ³	A1 ³	A1 ³	A1 ³
Cr	mg/kg	A1 ³	A1 ³	A1 ³	A1 ³	A1 ³	A1 ³
Cu	mg/kg	A1 ³	A1 ³	A1 ³	A1 ³	A1 ³	A1 ³
Pb	mg/kg	A1 ³	A1 ³	A1 ³	A1 ³	A1 ³	A1 ³
Ni	mg/kg	A1 ³	A1 ³	A1 ³	A1 ³	A1 ³	A1 ³
Zn	mg/kg	A1 ³	A1 ³	A1 ³	A1 ³	A1 ³	A1 ³
Hg	mg/kg	A1 ³	A1 ³	A1 ³	A1 ³	A1 ³	A1 ³
Skor (<i>Score</i>)		55	55	60	55	60	57

Keterangan (*Remarks*): J = jabon; K = ketapang; 0= kadar air kering udara <10% (*air dry <10% MC*); K15 = kadar air 15% (*15% moisture content*); K20 = kadar air 20% (*20% moisture content*); A1, A2, B = Kategori pelet kayu sesuai ISO 17225-2 (*Wood pellet grades according to ISO 17225-2*); X : Tidak memenuhi standar (*Does not meet the standard*); 0, 1, 2, & 3 = nilai skor (*score*)

Berdasarkan data dan hasil analisis menunjukkan bahwa kadar air berpengaruh secara nyata terhadap nilai densitas dan ketahanan pakai, akan tetapi perbedaan pengaruh pada ketahanan pakai tidak signifikan. Hal yang sama terjadi pada penelitian Fennir, Raghavan, Gariépy, dan Sotocinal (2014), yaitu kadar air dapat mempengaruhi densitas secara signifikan tetapi tidak mempengaruhi ketahanan pakai. Sejalan dengan penelitian lain bahwa kadar air akan menaikkan densitas dan menurunkan ketahanan pakai (Zafari & Hosein Kianmehr, 2012; Zafari & Kianmehr, 2012).

Dari hasil penelitian ini terlihat bahwa nilai densitas pelet kayu jabon mengalami kenaikan meskipun tidak signifikan dengan penambahan kadar air dari 15% menjadi 20%, sedangkan densitas pelet kayu ketapang justru menurun dengan penambahan kadar air dari 15% menjadi 20%. Nilai ketahanan pakai pelet jabon juga bertambah baik dengan penambahan kadar air dari 15% menjadi 20%, sedangkan pada pelet ketapang mengalami penurunan dengan bertambahnya kadar air menjadi 15% kemudian meningkat lagi meski tidak signifikan kenaikannya (pada KA 15% dan 20%). Fenomena ini memperkuat hasil penelitian sebelumnya bahwa nilai kadar air optimum setiap bahan pelet adalah berbeda-beda.

Ketahanan pakai terbaik pada pelet kayu diperoleh pada variasi kadar air untuk bahan baku yang berbeda, dan durabilitas paling rendah didapatkan pada pelet dengan kadar air yang rendah (Miranda et al., 2015). Seperti misalnya pada norway spruce, keawetan pelet menurun pada kadar air yang lebih tinggi dari 14,5% dan permukaan briket menjadi lebih kasar dan berpori (Matúš et al., 2015). Menurut penelitian, kadar air terbaik pada briket norway spruce dengan penambahan kadar air dari 11,7%–16,5% meskipun tidak menunjukkan perubahan yang signifikan dalam ketahanan pakai. Dalam jangka panjang, biomassa dengan kadar air lebih dari 16,5% menghasilkan bahan bakar yang mudah mengembang, retak dan mempunyai permukaan yang kasar. Demikian halnya dengan penelitian Huang et al. (2017) yang menyimpulkan bahwa densitas pelet akan naik seiring dengan bertambahnya kadar air dan kemudian menurun

dengan terus bertambahnya kadar air. Hasil yang berbeda dalam kadar air optimum rata-rata cukup rendah dibandingkan Matúš et al. (2015) yaitu pada birch 6,1%, reed canary grass 5,2%, dan norway spruce 5,1%.

Contoh lainnya adalah pelet yang dibuat pada kadar air serbuk gergaji di atas 12,5% akan menghasilkan durabilitas yang lebih baik sehingga pelet memenuhi standar kelas A1 (MD: 97,5%), dan kadar air disarankan pada kisaran 12,5–14% untuk mendapatkan kadar abu dan ketahanan pakai terbaik (Lestander, Finell, Samuelsson, Arshadi, & Thyrel, 2012). Lestander et al. (2012) juga menyatakan bahwa sangat mungkin untuk memproduksi pelet dari bahan segar (kadar air yang tinggi), karena kadar air mempunyai pengaruh yang lebih tinggi terhadap kualitas pelet dibandingkan dengan komposisi bahan baku pelet itu sendiri. Faktor yang mempengaruhi ketahanan pakai lebih kompleks, dimana lama simpan serbuk gergaji juga berpengaruh terhadap ketahanan pakai (Samuelsson, Larsson, Thyrel, & Lestander, 2012). Serbuk gergaji yang disimpan lebih lama akan menghasilkan pelet yang lebih kuat, dan semakin lama masa simpan serbuk gergaji maka semakin tinggi kadar air yang diperlukan untuk mendapatkan ketahanan pakai yang terbaik. Meskipun demikian, lama simpan akan membatasi pengaruh kadar air terhadap ketahanan pakai pelet.

Berdasarkan hasil penelitian, produksi pelet disarankan dilakukan pada kadar air 15%. Keuntungan lain dari penggunaan kadar air yang lebih tinggi selain mendapatkan sifat mekanis yang lebih baik adalah dapat mengurangi energi yang dibutuhkan dalam pembuatan pelet karena air dapat berfungsi sebagai pelumas dan mengurangi friksi antar partikel sehingga bahan baku lebih mudah dipadatkan menjadi pelet (Schilling et al., 2015).

C. Pengaruh Kadar Air terhadap Sifat Fisika dan Kimia Lain

Kadar air biomassa berpengaruh terhadap sifat kimia yang lain diantaranya nilai kalori, kadar air, kadar abu, kadar zat terbang, N, S, Cl, K, Na, Mn, As, Cd, Cr, Cu, Pb, Ni, Zn, dan Hg. Sifat fisika seperti panjang dan diameter lebih dipengaruhi oleh spesifikasi alat peletisasi (Miranda et al., 2015).

Nilai kalori pelet terlihat menurun seiring dengan bertambahnya kadar air. Hal ini berbanding terbalik dengan kadar air pelet yang justru naik dengan naiknya kadar air biomassa. Naiknya kadar air pelet wajar terjadi karena dengan kadar air biomassa lebih tinggi, maka kandungan air tersisa setelah peletisasi juga lebih tinggi. Nilai kadar abu tidak berbeda nyata dengan perubahan kadar air. Hal ini dikarenakan kadar abu lebih dipengaruhi oleh kandungan nitrogen, sulfur, dan logam dari biomassa (Bryers, 1996; Febrero, Granada, Regueiro, & Míguez, 2015; Reid, 1984; Werkelin et al., 2010). Kadar air berpengaruh signifikan terhadap nitrogen dan sulfur, terlihat bahwa semakin tinggi kadar air, kandungan nitrogen dan sulfur semakin kecil. Lain halnya dengan pengaruh kadar air terhadap logam yang mempunyai kecenderungan tidak sama, ada yang konsentrasinya naik dan ada yang turun.

IV. KESIMPULAN

Kadar air mempengaruhi ketahanan pakai dan densitas pelet kayu jabon dan ketapang. Produk pelet kayu berbahan baku kayu jabon dengan kadar air 0%, 15%, dan 20% secara umum memenuhi standar produk pelet kayu kualitas A1 dan B untuk keperluan non-industri dan rumah tangga menurut ISO 17225-2. Produksi pelet kayu jabon disarankan menggunakan kadar air bahan 20%, sedangkan pelet kayu ketapang pada kadar air 15%, dengan tekanan 464,52 kg/cm², suhu 150°C, selama 10 menit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Balai Riset dan Standardisasi Industri Banjarbaru, Kementerian Perindustrian yang telah menyediakan dana, sarana dan prasarana selama pelaksanaan penelitian. Ucapan terima kasih juga kami sampaikan kepada Bapak Miyono, atas bantuannya sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan lancar.

KONTRIBUSI PENULIS

Ide, desain dan rancangan percobaan dilakukan oleh R3, IDP, dan BTC. Pengambilan data dilakukan oleh R3, IDP, dan BTC. Analisis data dilakukan oleh R3 dan IDP dan penulisan manuskrip dilakukan oleh R3 dan IDP. Perbaikan dan finalisasi manuskrip dilakukan oleh R3 dan IDP.

DAFTAR PUSTAKA

- Astana, S., Soenarno, & Endom, W. (2015). Potensi penerimaan negara bukan pajak dari limbah kayu pemanenan di hutan alam dan hutan tanaman. *Jurnal Penelitian Sosial Ekonomi Kehutanan*, 12(3), 227–243.
- ASTM D 5142-02. (2004). *ASTM D 5142-02 Standard test methods for proximate analysis of the analysis sample of coal and coke by instrumental procedures*. ASTM International, USA.
- Biswas, A. K., Yang, W., & Blasiak, W. (2011). Steam pretreatment of Salix to upgrade biomass fuel for wood pellet production. *Fuel Processing Technology*, 92(9), 1711–1717. doi: doi.org/10.1016/j.fuproc.2011.04.017.
- Bryers, W. (1996). Fireside slagging, fouling, and high temperature corrosion of heat transfer surface due to impurities in steam raising fuels. *Progress in Energy and Combustion Science*, 72, 29–120.
- Calderon, C., Gauthier, G., & Jossart, J.M. (2017). *AEBIOM Statistical Report European Bioenergy Outlook 2017*. Brussels.
- Chew, J. J., & Doshi, V. (2011). Recent advances in biomass pretreatment – Torrefaction fundamentals and technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(8), 4212–4222. doi: doi.org/10.1016/j.rser.2011.09.017.
- Coskun, M. B., Yalcin, I., & Ozarslan, C. (2006). Physical properties of sweet corn seed (*Zea mays saccharata* Sturt.). *Journal of Food Engineering*, 74, 523–528. doi: doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.03.039.

- EN 14774-2. (2009). *EN 14774-2:2009 Solid biofuels. Determination of moisture content. Oven dry method. Total moisture. Simplified method.* British Standards Institution.
- EN 14775:2009. (2009). *EN 14775:2009 Solid biofuels. Determination of ash content.* British Standards Institution.
- EN 14918. (2009). *EN 14918: 2009, Solid Biofuels: Determination of Calorific Value.* British Standards Institution.
- EN 15103:2009. (2009). *EN 15103:2009 Solid biofuels. Determination of bulk density.* British Standards Institution.
- EN 15290. (2011). *Solid biofuels. Determination of major elements. Al, Ca, Fe, Mg, P, K, Si, Na and Ti.* British Standards Institution.
- EN 16127. (2012). *EN 16127:2012 Solid biofuels. Determination of length and diameter of pellets.* British Standards Institution.
- Fakhri, Yohanes, & Riyawan, E. (2015). Kajian potensi limbah kayu industri saw mill untuk produk panel ringan berongga berbasis teknologi laminasi. Dalam *Annual Civil Engineering Seminar 2015* (pp. 314–321). Universitas Riau, Pekanbaru, Riau.
- Febrero, L., Granada, E., Regueiro, A., & Míguez, J. L. (2015). Influence of combustion parameters on fouling composition after wood pellet burning in a lab-scale low-power boiler. *Energies*, 8, 9794–9816. doi: doi.org/10.3390/en8099794.
- Fennir, M. A., Raghavan, V. G. S., Gariépy, Y., & Sotocinal, S. (2014). Strength of pellets and briquettes made from libyan olive oil solid residues. Dalam *International Conference on Advances in Agricultural, Biological & Environmental Sciences (AABES-2014)* (pp. 33–36). Dubai (UAE), Oct 15-16, 2014.
- Grover, P. D., & Mishra, S. K. (1996). Biomass briquetting: Technology and practices. Regional Wood Energy Development Programme in Asia FAO. Bangkok, Thailand.
- Huang, Y., Finell, M., Larsson, S., Wang, X., Zhang, J., Wei, R., & Liu, L. (2017). Biofuel pellets made at low moisture content – Influence of water in the binding mechanism of densified biomass. *Biomass and Bioenergy*, 98, 8–14. doi: 10.1016/j.biombioe.2017.01.002.
- ISO 17225-2. (2014). *Solid biofuels fuel specifications and classes. Part 2: Graded wood pellets.* Ireland, UK: National Standards Authority of Ireland.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). (2018). *Statistik Lingkungan hidup dan kehutanan tahun 2017.* Jakarta, Indonesia.
- Lamanda, D.D., Setyawati, D., Nurhaida, Diba, F., & Roslinda, E. (2015). Karakteristik biopellet berdasarkan komposisi serbuk batang kelapa sawit dan arang kayu laban dengan jenis perekat sebagai bahan bakar alternatif terbarukan. *Hutan Lestari*, 3(2), 313–321.
- Lestander, T.A., Finell, M., Samuelsson, R., Arshadi, M., & Thyrel, M. (2012). Industrial scale biofuel pellet production from blends of unbarked softwood and hardwood stems-the effects of raw material composition and moisture content on pellet quality. *Fuel Processing Technology*, 95, 73–77. doi: 10.1016/j.fuproc.2011.11.024.
- Lestari, R.Y., & Prabawa, I.D.G.P. (2018). Potensi limbah serbuk gergajian dan sekam padi sebagai bahan baku wood pellet kualitas tinggi untuk konsumsi rumah tangga. Dalam *Prosiding Seminar Nasional XX Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia (MAPEKI)* Yogyakarta: Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia.
- Liu, Z., Fei, B., Jiang, Z., Cai, Z., & Liu, X. (2014). Important properties of bamboo pellets to be used as commercial solid fuel in China. *Wood Science and Technology*, 48(5), 903–917. doi:10.1007/s00226-014-0648-x.

- Matúš, M., Križan, P., Beniák, J., & Šooš, Ľ. (2015). Effects of initial moisture content on the production and quality properties of solid biofuel. *Acta Polytechnica*, 55(5), 335–341 doi:10.14311/AP.2015.55.0335.
- Miranda, T., Montero, I., Sepúlveda, F. J., Arranz, J. I., Rojas, C. V., & Nogales, S. (2015). A review of pellets from different sources. *Materials*, 8(4), 1413–1427. doi:10.3390/ma8041413.
- Monedero, E., Portero, H., & Lapuerta, M. (2015). Pellet blends of poplar and pine sawdust: Effects of material composition, additive, moisture content and compression die on pellet quality. *Fuel Processing Technology*, 132, 15–23. doi: 10.1016/j.fuproc.2014.12. 013.
- Reid, W. T. (1984). The relation of mineral composition to slagging, fouling and erosion during and after combustion. *Progress in Energy and Combustion Science*, 10, 159–169.
- Rudolfsson, M. (2016). *Characterization and densification of carbonized lignocellulosic biomass* (Doctoral Thesis). Swedish University of Agricultural Science.
- Samuelsson, R., Larsson, S. H., Thyrel, M., & Lestander, T. A. (2012). Moisture content and storage time influence the binding mechanisms in biofuel wood pellets. *Applied Energy*, 99, 109–115. doi: 10.1016/j.apenergy.2012.05.004.
- Schilling, C., Lee, J. S., Ghiasi, B., Tajilrou, M., Wöhler, M., Lim, C. J., ... Sokhansanj, S. (2015). Towards manufacturing The “ Ideal Pellet .” In *CSBE/SCGAB 2015 Annual Conference*. Edmonton, Alberta 5-8 Juli 2015: The Canadian Society for Bioengineering.
- Serrano, C., Monedero, E., Lapuerta, M., & Portero, H. (2011). Effect of moisture content, particle size and pine addition on quality parameters of barley straw pellets. *Fuel Processing Technology*, 92(3), 699–706. doi: 10.1016/j.fuproc.2010.11.031.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). (2015) *Cara Uji Air Minum dalam Kemasan, Pengujian Klor Bebas*. (SNI 3554:2015. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Thrän, D., Peetz, D., Schaubach, K., Backéus, S., Benedetti, L., Bruce, L., ... Wild, M. (2017). *The Global wood pellet industry and trade study 2017*. IEA Bioenergy.
- Tumuluru, J. S., Sokhansanj, S., Lim, C. J., Bi, T., Lau, A., Melin, S., ... Oveisi, E. (2010). Quality of wood pellets produced in British Columbia for export. *Applied Engineering in Agriculture*, 26(6), 1013–1020.
- Tumuluru, J. S., Wright, C. T., Hess, J. R., & Kenney, K. L. (2011). A review of biomass densification systems to develop uniform feedstock commodities for bioenergy application. *Biofuels Bioproducts and Biorefining*, 5(6), 683–707. doi: 10.1002/bbb.
- Werkelin, J., Skrifvars, B., Zevenhoven, M., Holmbom, B., & Hupa, M. (2010). Chemical forms of ash-forming elements in woody biomass fuels. *Fuel*, 89(2), 481–493. http://doi.org/10.1016/j.fuel.2009.09.005.
- Wilson, T. O. (2010). *Factors affecting wood pellet durability* (Master Thesis). The Pennsylvania State University, Pennsylvania, United States.
- Zafari, A., & Hosein Kianmehr, M. (2012). Effect of temperature, pressure and moisture content on durability of cattle manure pellet in open-end die method. *Journal of Agricultural Science*, 4(5), 203–208. doi: 10.5539/jas.v4n5p203.
- Zafari, A., & Kianmehr, M. H. (2012). Effect of raw material properties and die geometry on the density of biomass pellets from composted municipal solid waste. *BioResources*, 7(4), 4704–4714.