



Pengaruh Ukuran Serbuk dan Penambahan Tempurung Kelapa Terhadap Kualitas Pelet Kayu Sengon

Effect of Particle Size and Addition of Coconut Cell on the Quality of Sengon Wood Pellet

Anindya Husnul Hasna¹, J. P. Gentur Sutapa², & Denny Irawati^{2*}

¹Mahasiswa Pasca Sarjana Ilmu Kehutanan, Yogyakarta

²Departemen Teknologi Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada, Jogjakarta, 55281

*Email : dirawati@ugm.ac.id

ABSTRACT

HASIL PENELITIAN

Riwayat Naskah :

Naskah masuk (received): 25 Juli 2018

Diterima (accepted): 11 Maret 2019

KEYWORDS

wood pellet
Sengon
coconut shell
particle size
material composition

*The waste of sengon (*Falcataria moluccana*) industry becomes one of the raw materials in the manufactured of wood pellets, because of its potency. However *F. moluccana* pellets posses low density and calorific value. To improve its properties, a materials mixing with coconut shell parcticles was conducted. This study used material from the waste of sengon (*F. moluccana*) sawdust and the waste of coconut (*Cocos nucifera*). Particles from those materials were made on 3 sizes which are 20-40 mesh, 40-60 mesh, and 60-80 mesh. 25%, 50%, and 75% of coconut shell were added into sengon sawdust, while woode pellets with no additions were used as a control. Pellets are made using single-pelletizer at room temperature with a pressure of 100 kg/cm². The research results showed if the different material combination (sengon and coconut shell) gave significant effect to physical properties and chemical content of wood pellets. Higher percentage of coconut shell gives higher compressive strength, fixed carbon content, total of carbon, and calorific value, while volatile matter, ash content, N, S, and H content showed lower value. The best pellet was resulted from combination between coconut shell addition 50% and nesh size 60 – 80 which posses quite low ash content (0.79%) and high calorific value (5129.07 Kal/g), and high compression strength (444.75 N). This result has qualified the standard of SNI 8021:2014.*

INTISARI

KATA KUNCI

pelet kayu
sengon
tempurung kelapa
ukuran serbuk
komposisi bahan

Limbah industri kayu sengon menjadi salah satu bahan baku dalam pembuatan pelet kayu karena potensinya yang cukup besar. Akan tetapi pelet kayu sengon memiliki kerapatan serta nilai kalor yang rendah. Untuk meningkatkan sifat bahan bakar pelet kayu Sengon maka dilakukan pencampuran bahan dengan serbuk tempurung kelapa. Penelitian ini menggunakan bahan dari limbah serbuk gergaji sengon (*Falcataria moluccana* (Miq.)) dan limbah tempurung kelapa (*Cocos nucifera*). Masing-masing bahan dibuat partikel pada 3 kelompok ukuran yaitu 20-40 mesh, 40-60 mesh, dan 60-80 mesh. Ke dalam serbuk kayu sengon ditambahkan serbuk tempurung kelapa dengan penambahan 25%, 50%, dan 75%, sedangkan untuk kontrol (0%) adalah pelet kayu sengon tanpa penambahan tempurung kelapa. Pelet dibuat dengan menggunakan *single-pelletizer* pada suhu ruang dengan tekanan

100 kg/cm². Hasil penelitian menunjukkan kombinasi bahan baku yang berbeda (sengon dan tempurung kelapa) memberikan pengaruh terhadap sifat fisika dan kimia pelet kayu. Semakin tinggi persentase campuran serbuk tempurung kelapa pada pelet kayu sengon maka semakin tinggi keteguhan tekan, karbon terikat, total karbon dan nilai kalor, sedangkan untuk kadar zat mudah menguap, kadar abu, kadar N, S, dan H semakin rendah. Pelet terbaik dihasilkan pada kombinasi penambahan tempurung kelapa 50% dengan ukuran 60-80 mesh yang memiliki sifat kadar abu yang rendah (0,79%) dan nilai kalor yang tinggi (5129,07 Kal/g), serta keteguhan tekan yang masih cukup tinggi (444,75N). Hasil tersebut memenuhi standar SNI 8021:2014.

© Jurnal Ilmu Kehutanan -All rights reserved

Pendahuluan

Pemanfaatan sumber energi biomasa memiliki keuntungan yaitu bersifat karbon netral sampai karbon negatif, artinya CO₂ yang dihasilkan pada saat pembakaran kemudian diserap kembali oleh tumbuhan semasa proses fotosintesis (Yokoyama et al. 2008), bila dibandingkan dengan energi dari minyak bumi yang bersifat karbon negatif. Biomasa dapat langsung digunakan sebagai bahan bakar, tetapi memiliki kerapatan masa yang rendah dan permasalahan pada penanganan, penyimpanan, dan transportasi. Densifikasi biomasa menjadi bentuk pelet dapat meningkatkan kerapatan masa dan kandungan energi tiap satuan volume, efisiensi pembakaran, ukuran dan bentuk yang homogen, mengurangi jumlah abu pada sisa pembakaran dan meningkatkan kapasitas panas (Saptoadi 2006). Pelet kayu adalah biofuel yang dipadatkan dari serbuk biomasa yang dihancurkan dengan/ tanpa tambahan aditif, berbentuk silinder dengan diameter 6-10 mm dan panjang 5-40 mm (CEN/TS 2003). Homogenitas dalam ukuran, bentuk, dan kualitas pelet membuat pelet digunakan sebagai bahan bakar langsung di beberapa aplikasi seperti tungku pemanas perumahan, pemanas boiler, serta sumber bahan bakar pembangkit listrik skala besar (Oberberger & Thek 2010).

Limbah industri kayu sengon (*Falcataria moluccana* (Miq.)) memiliki potensi besar sebagai sumber bahan baku pelet. Menurut BPS tahun 2016 produksi kayu bulat sengon nomor 3 terbesar yaitu 2,56 juta m³ atau 6,05% dari total produksi kayu bulat di Indonesia. Industri penggergajian kayu

menghasilkan limbah serbuk gergajian sebesar 10,6%, sehingga jumlah limbah serbuk gergajian dari industri perkayuan sebesar 271.360 m³/tahun (Sylviani & Suryandari, 2013). Ukuran serbuk gergaji adalah berkisar antara 10-80 mesh, hal ini kurang menguntungkan dalam penggunaannya secara langsung serbuk gergaji untuk energi karena sifatnya yang meruah. Penggunaan serbuk untuk energi akan lebih efektif ketika dikonversi menjadi pelet. Ukuran partikel yang direkomendasikan untuk pelet dengan kualitas yang baik adalah 0,6-0,8 mm, karena ukuran partikel yang lebih besar dari 1,0 mm akan mengurangi keteguhan tekan pelet kayu (Kaliyan & Morey 2009; Nguyen et al. 2015). Mani et al. (2006) pada penelitiannya mengenai pelet biomasa dari 4 jenis rerumputan, menunjukkan hasil bahwa semakin besar ukuran partikel, semakin rendah kerapatan dan kerapatan curah pelet. Berdasarkan penelitian sebelumnya oleh Hendra (2012), nilai kalor pada pelet kayu sengon hanya pada kisaran 3.556-4.003 kal/g dan kerapatan 0,46-0,66 g/cm³.

Pencampuran berbagai jenis bahan biomasa merupakan cara yang efektif untuk meningkatkan sifat pelet kayu (Liu et al. 2016). Peningkatan kerapatan dan nilai kalor pelet kayu sengon, dapat dilakukan dengan menambahkan bahan lain yang memiliki berat jenis dan nilai kalor yang tinggi. Salah satu limbah pertanian dengan berat jenis dan nilai kalor yang tinggi adalah tempurung kelapa (*Cocos nucifera*). Nilai kalor tempurung kelapa mencapai 4893,95 kal/g selain itu tempurung kelapa juga memiliki kelebihan lain yaitu kadar nitrogen dan kadar sulfur yang rendah, berturut-turut adalah 0,28% d.b. dan 0% d.b. (Singh et al. 2015; Sonarkar

et al. 2018), serta kadar lignin yang tinggi yaitu 29,35% (Liyanage & Pieris 2015). Hasil penelitian sebelumnya pada pembuatan pelet kayu poplar yang dicampur dengan kayu pinus terjadi peningkatan durability pelet sebesar 0,5%, serta meningkatkan kerapatan pelet dan kerapatan curah pelet, masing-masing sebesar 7 dan 10%, namun juga terjadi peningkatan kadar abunya (Monedero et al. 2015). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh dari interaksi antara ukuran partikel bahan baku dan penambahan tempurung kelapa pada serbuk kayu sengon terhadap sifat fisika-kimia pelet kayu yang dihasilkan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai peningkatan sifat pelet kayu sengon dan sebagai landasan bagi penelitian berikutnya terkait pembuatan pelet dari berbagai jenis biomasa di Indonesia yang belum banyak dilakukan.

Bahan dan Metode

Bahan dan alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah serbuk gergaji kayu sengon (*Falcataria moluccana* (Miq.)) dari industri gergajian UD. Sambisari Desa Cangkringan, Kabupaten Sleman, dan tempurung kelapa (*Cocos nucifera*) dari kecamatan Galur, Kabupaten Kulon Progo, Yogyakarta. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah ayakan ukuran 20, 40, 60, dan 80 mesh, grinder, kempa hidraulik tipe Carver 2101 *Laboratory Press*, model C seri No. 24000.438, alat pres pelet (*single-pelletizer*) yang terbuat dari bahan baja tahan karat ukuran diameter 8 mm tinggi 55 mm, bagian *close-end* tinggi 10 mm, dan pendorong cetakan dengan panjang 100 mm.

Metode

Pembuatan pelet

Limbah serbuk gergaji kayu sengon dan tempurung kelapa masing-masing dihancurkan dengan grinder, kemudian diayak hingga didapatkan sampel dengan ukuran 20-40 mesh, 40-60 mesh, dan 60-80 mesh. Sebelum digunakan bahanbaku di oven suhu 60 °C selama 3 hari. Selanjutnya kedua bahan dicampur dengan cara menambahkan serbuk tempurung kelapa ke serbuk kayu sengon sebanyak 0% (kontrol), 25% (b/b), 50% (b/b), dan

75% (b/b) dan dicampur hingga homogen. Setelah itu campuran bahan serbuk sengon dan serbuk tempurung kelapa sebanyak 1 g dimasukkan ke dalam alat *single-pelletizer*, dikempa pada tekanan 100 kg/cm², pada suhu ruang selama 5 menit. Hasil sampel pelet yang diperoleh kemudian digunakan untuk pengujian selanjutnya.

Keteguhan tekan

Pengujian kekuatan tekan pelet mengikuti standar ASTM D4179-11 (*American Society for Testing and Materials*, 2011). Sampel pelet diletakkan secara radial pada dua permukaan datar pada alat *Unit Testing Machine* (UTM), kemudian diberikan beban tekanan dan gaya yang dibutuhkan untuk menghancurkan pelet diukur. Pengukuran keteguhan tekan pelet ini diulang sebanyak 3 kali.

Pengujian proximat pelet

Pengujian proximat pelet terdiri dari analisis kadar air, kadar zat terbang, kadar abu, dan kadar karbon terikat. Kadar air sampel diukur dengan mengikuti standar ASTM D1762-84 (2013). Kadar zat terbang sampel diukur dengan mengikuti standar ASTM D1762-84 (2006). Pengujian kadar abu dilakukan sesuai prosedur standar ASTM D1762-84 (2006). Prosedur perhitungan kadar karbon terikat dilakukan dengan menggunakan standar ASTM D3172-13 (2013).

Nilai kalor

Pengujian nilai kalor dilakukan menggunakan alat oksigen *bomb calorimeter* No. 1341 seri 3403, *Parr Instrument Company Inc*. Cara pengujian nilai kalor mengikuti standar ASTM D2015-00.

Analisis ultimat

Prosedur uji ultimat menggunakan instrumen CHN Determinator Leco Truspec, sesuai dengan ASTM D-5373-08 (*American Society for Testing and Materials*, 2008). Penentuan kadar oksigen diperoleh melalui pengurangan 100 dengan jumlah komponen-komponen lain dalam uji ultimat.

Analisis Data

Analisis data yang digunakan adalah analisis varian 2 faktor untuk melihat ada atau tidaknya interaksi antara ukuran partikel dan banyaknya penambahan tempurung kelapa. Sedangkan untuk

analisis ultimat dilakukan uji analisis varian 1 faktor yaitu perbedaan penambahan tempurung kelapa. Uji lanjut Tukey HSD digunakan untuk melihat seberapa jauh perbedaan dari nilai rata-rata data pada hasil analisis yang berbeda nyata (Gomez & Gomez 1995).

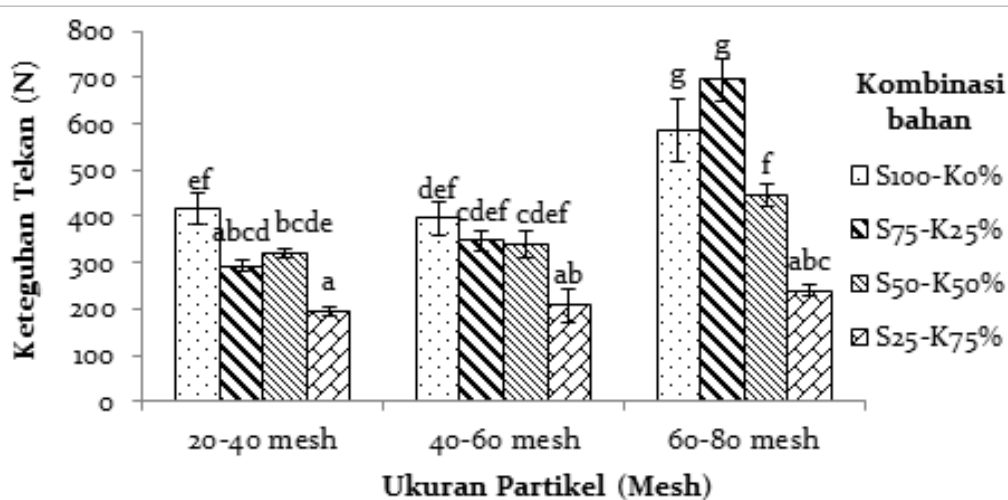
Hasil dan Pembahasan

Keteguhan tekan

Keteguhan tekan pelet campuran sengon dan tempurung kelapa berkisar 195,68 - 694,83 N. Hasil uji Tukey menunjukkan bahwa kombinasi bahan dan ukuran partikel berpengaruh nyata terhadap keteguhan tekan pelet. Keteguhan tekan pelet kontrol (0%) dan pelet sengon yang diberi tambahan tempurung kelapa 25% ukuran 60-80 mesh, berbeda nyata dengan pelet yang diberi tambahan tempurung kelapa sebanyak 50% dan 75% pada ukuran yang sama, serta pelet dengan ukuran partikel 20-40 serta 40-60 mesh pada semua kombinasi. Terjadi peningkatan keteguhan tekan pelet dengan semakin kecilnya ukuran partikel (Gambar 1). Hendra (2012) menyatakan bahwa kerapatan pelet berbanding lurus dengan keteguhan tekan, dan semakin tinggi kerapatan pelet maka keteguhan tekan semakin meningkat. Keteguhan tekan tertinggi dihasilkan pada pelet ukuran partikel 60-80 mesh. Ukuran partikel memiliki peran utama dalam kualitas pelet, terutama pada kekuatan mekanik pelet kayu. Selama proses pemadatan, lapisan pertama partikel

berinteraksi dengan lapisan kedua partikel dengan mendorong satu sama lain dan mengisi celah-celah yang ada. Ketika lapisan partikel lainnya terus bergerak dan menumpuk, partikel saling melawan satu sama lain, dan karenanya ada peningkatan tegangan antar partikel (Harun & Afzal, 2016).

Hasil keteguhan tekan pada penelitian ini lebih tinggi jika dibandingkan dengan keteguhan tekan pelet sengon hasil penelitian sebelumnya yaitu 350,93 N (Hendra 2012). Keteguhan tekan pelet kontrol (0%) lebih tinggi jika dibandingkan dengan keteguhan tekan pelet yang diberi tambahan tempurung kelapa kecuali pada penambahan tempurung kelapa 25% pada ukuran 60-80 mesh (Gambar 1). Hal ini diduga disebabkan oleh kandungan ekstraktif yang lebih tinggi pada kayu sengon yaitu 3,5 (Pari 1996) dibanding tempurung kelapa 2,5 (Child & Ramanathan 1938). Karena pada penelitian ini pembuatan pelet tidak menggunakan panas, maka diduga lignin tidak mengalami sifat termoplastis dan tidak berperan pada pembentukan ikatan antar partikel pada pellet. Pada kondisi ini, kekuatan ikatan yang terlibat dalam pelet biomassa adalah gaya atraktif antara lain gaya ikatan-H, gaya van der Waals dan mekanis *interlocking*. Ekstraktif dalam biomassa memainkan peran penting dalam gaya tarik partikel lignoselulosa yang berdekatan, keberadaan ekstraktif mengarah ke kekuatan ikatan antar H dan van der Waals yang lemah (Liu et al. 2014). Sedangkan tingginya kekuatan tekan pellet pada



Gambar 1. Histogram kekuatan tekan pelet campuran sengon dan tempurung kelapa pada berbagai ukuran partikel dan kombinasi bahan

Figure 1. Histogram compressive strength of pellets from *F. moluccana* mix with *Cocos nucifera* shell at various particle size and material combination

penambahan tempurung kelapa 25% pada ukuran 60-80 mesh, diduga selain karena kandungan ekstraktif yang tinggi pada kayu sengon yang mendominasi campuran juga karena ukuran yang halus dari tempurung kelapa mampu masuk ke celah-celah diantara tumpukan serbuk kayu sengon, sehingga membentuk mekanis *interlocking*. Memadukan biomasa pertanian berupa tempurung kelapa dengan biomasa kayu (sengon) untuk menghasilkan pelet dapat menjadi salah satu opsi potensial untuk industri pelet. Meski begitu kombinasi tempurung kelapa yang dilakukan sebaiknya tidak melebihi dari 50%, karena pada penelitian ini terjadi penurunan keteguhan tekan yang signifikan baik pada ukuran 20-40 mesh maupun 60-80 mesh (Gambar 1).

Kadar air

Kadar air pelet pada penelitian ini berkisar antara 7,65-10,48%. Kadar air tertinggi terdapat pada kontrol (penambahan tempurung kelapa 0%) dengan ukuran partikel 40-60 mesh, sedangkan yang terendah adalah pada kontrol (0%) dengan ukuran partikel 20-40 mesh (Tabel 1). Pada penelitian ini terlihat bahwa semakin kecil ukuran partikel, maka kadar air pelet semakin besar. Hal ini disebabkan karena ukuran

partikel yang semakin halus memberikan luas permukaan yang lebih besar, sehingga penyerapan kelembaban akan semakin mudah jika dibandingkan dengan pelet berukuran lebih besar (Carone et al. 2011). Selain itu semakin kecil ukuran partikel maka porositas akan menurun, porositas yang rendah menyebabkan area penyerapan air semakin besar sehingga kadar air pada ukuran partikel kecil menjadi lebih tinggi (Huang et al. 2017).

Hasil uji Tukey menunjukkan bahwa kombinasi bahan berpengaruh nyata terhadap kadar air pelet. Kadar air pada pelet kontrol (0%) ukuran 20-40 mesh, berbeda nyata dengan pelet yang diberi tambahan tempurung kelapa sebanyak 25% dan 75%. Pada pelet dengan ukuran partikel 20-40 mesh terjadi peningkatan kadar air pelet yang signifikan dengan penambahan tempurung kelapa sebesar 50-75%. Hal ini disebabkan karena pelet sengon mempunyai kerapatan yang lebih rendah dibandingkan kerapatan pelet kombinasi. Menurut Sudiro dan Suroto (2014) kerapatan bahan yang rendah mengakibatkan penguapan air menjadi lebih mudah pada saat pengeringan, sehingga kadar air pelet tanpa kombinasi tempurung kelapa lebih rendah dibandingkan dengan pelet dengan

Tabel 1. Rata-rata sifat proksimat dan nilai kalor pelet campuran sengon dengan tempurung kelapa
Table 1. Proximate analysis and calorific value of pellets from *F. moluccana* mix with *Cocos nucifera* shell

Ukuran Partikel (mesh)	Penambahan tempurung kelapa	Kadar Air (%)	Kadar Zat Terbang (%)	Kadar Abu (%)	Karbon Terikat (%)
20-40	Kontrol (0%)	7,65a	84,08cd	1,59efg	6,68b
	25%	8,09ab	84,57cd	1,44defg	5,9b
	50%	8,82bc	80,22b	1,55bcd	9,89c
	75%	9,71def	75,32a	1,29a	14,26d
40-60	Kontrol (0%)	10,48g	86,41de	1,24g	1,53a
	25%	9,89fg	84,36cd	1,35def	4,50b
	50%	8,96cd	80,58b	1,08de	9,39c
	75%	9,84efg	75,50a	1,07ab	13,88d
60-80	Kontrol (0%)	9,81efg	87,06e	0,86fg	1,59a
	25%	9,55def	83,83c	0,72defg	5,26b
	50%	9,80efg	79,77b	0,79abc	9,58c
	75%	9,05cde	76,28a	0,71a	13,95d

Keterangan: nilai yang diikuti huruf yang sama pada satu kolom menunjukkan tidak ada perbedaan berdasar analisis Tukey pada $\alpha = 5\%$.

Remark: Value followed by sam lether at the same column show no significant different according Tukey analysis of 5% level.

kombinasi tempurung kelapa. Bila dibandingkan dengan standar kadar air pelet kombinasi sengon dan tempurung kelapa yang dihasilkan pada penelitian ini telah memenuhi standar EnPlus ($\leq 10\%$) dan standar IWPB ($\leq 10\%$).

Kadar zat terbang

Hasil penelitian menunjukkan kadar zat terbang pelet berkisar antara 75,32-87,06%, kadar zat terbang terendah pada pelet dengan penambahan tempurung kepala 75% pada ukuran partikel 20-40 *mesh* dan tertinggi pada pelet control dengan ukuran partikel 60-80 *mesh* (Tabel 1). Terdapat kecenderungan dengan penambahan lebih dari 50% tempurung kelapa dapat menurunkan kadar terbang pelet. Kadar zat terbang menurun 5-9% dengan penambahan serbuk tempurung kelapa 50-75% pada pelet sengon. Hal ini disebabkan karena karakteristik dari kedua bahan baku yang berbeda (Hendra 2012). Berdasar hasil penelitian sebelumnya diketahui bahwa kadar zat terbang kayu sengon adalah sebesar 86,82%, sedangkan tempurung kelapa hanya 71,84% (Hendra 2012; Sonarkar et al. 2018). Kadar zat terbang pada penelitian ini lebih rendah jika dibandingkan dengan kadar zat terbang pelet sengon yang dilakukan oleh Hendra (2012).

Berdasarkan hasil uji Tukey, kadar zat terbang pelet pada ukuran partikel 20-40 *mesh* dan 40-60 *mesh* menunjukkan nilai yang tidak berbeda nyata (Tabel 1). Hal ini berarti bahwa faktor ukuran partikel dalam penelitian ini memiliki pengaruh kecil pada karakteristik kadar zat terbang pelet. Bahan bakar pelet yang memiliki kadar zat terbang tinggi akan menimbulkan asap lebih banyak pada saat pembakaran dibandingkan dengan bahan bakar pelet dengan kadar zat terbang rendah, namun juga akan lebih cepat terbakar. Jika dibandingkan dengan standar SNI ($\leq 80\%$) maka pelet dengan penambahan tempurung kelapa 75% memenuhi standar, namun pelet dengan penambahan tempurung kelapa di bawah 75% belum memenuhi standar. Tingginya kadar zat terbang ini disebabkan oleh karakteristik bahan baku. Menurut Loo dan Koppejan (2008), kandungan zat terbang biomasa berkisar antara 70-86% dari berat keringnya. Hal tersebut yang membuat biomasa kayu sebagai bahan bakar yang

lebih reaktif daripada batubara yang mengandung kadar zat terbang 35%, sehingga kecepatan pembakaran biomasa kayu berlangsung lebih cepat selama fase devolatilisasi.

Kadar abu

Kadar abu merupakan indikator untuk mengetahui banyaknya abu yang dihasilkan setelah selesai pembakaran. Kadar abu pelet pada penelitian ini berkisar antara 0,71-1,59% (Tabel 1). Hasil uji HSD terhadap kadar abu pelet sengon dengan penambahan tempurung kelapa menunjukkan bahwa faktor penambahan tempurung kelapa berpengaruh nyata terhadap kadar abu pelet. Kadar abu terendah terdapat pada pelet dengan penambahan tempurung kelapa sebanyak 75%, dan tertinggi pada pelet kontrol (0%). Tingginya kadar abu disebabkan oleh kandungan mineral bahan seperti N, P, K, Ca, Mg, dan S (Sari 2009). Sejalan pada hasil analisis ultimat (Tabel 2) bahwa kadar N dan S tertinggi pada pelet kontrol (0%).

Terdapat kecenderungan dengan penambahan 25% tempurung kelapa dapat menurunkan kadar abu pelet sebesar 12-49%. Hal ini diduga disebabkan karena kadar abu pada tempurung kelapa lebih rendah yaitu hanya 0,47% dibandingkan dengan kadar abu kayu sengon yang mencapai 1,45% (Acda et al. 2015; Sonarkar et al. 2018). Dick et al. (2007) menyatakan kadar abu ditentukan dari komposisi unsur mineral dari bahan bakar. Sehingga semakin banyak persentase tempurung kelapa maka kadar abu pelet kombinasi sengon dan tempurung kelapa semakin rendah (Acda 2015). Jika dibandingkan dengan standar, maka rata-rata kadar abu dalam penelitian ini (1,15%) telah memenuhi standar EnPlus ($\leq 1,5\%$), standar IWBP ($\leq 1,5\%$), dan standar SNI ($\leq 1,5\%$).

Kadar karbon terikat

Kadar karbon terikat pelet berkisar antara 1,53-14,26%, kadar karbon terikat terendah pada pelet control dengan ukuran partikel 40-60 *mesh*, dan tertinggi pada pelet dengan penambahan tempurung kelapa sebanyak 75% dengan ukuran partikel 20-40 *mesh* (Tabel 1). Terdapat kecenderungan dengan penambahan 50% tempurung kelapa dapat

meningkatkan kadar karbon terikat pelet. Kadar karbon terikat meningkat dengan penambahan tempurung kelapa sebanyak 50-75%. Hal ini diduga disebabkan karena tingginya kadar karbon terikat tempurung kelapa. Karbon terikat tempurung kelapa mencapai 22,09% sedangkan karbon terikat sengon berkisar 8,88-9,73% (Hendra 2012; Sonarkar et al. 2018). Hasil kadar karbon terikat pada penelitian ini lebih tinggi jika dibandingkan dengan kadar karbon terikat pelet sengon hasil penelitian Hendra (2012). Pada pelet kayu sengon penelitian Hendra (2012), kadar karbon terikat pelet berkisar 8,88-9,73%, sedangkan pada penelitian ini kadar karbon terikat pelet tertinggi yaitu 14,26% dengan penambahan kombinasi tempurung kelapa sebesar 75%.

Pada penelitian terlihat bahwa faktor ukuran partikel memberikan nilai yang hampir sama, sehingga memberikan pengaruh kecil terhadap kadar karbon terikat. Karbon terikat merupakan unsur karbon yang terdapat dalam bahan selain kadar air, kadar abu, dan zat terbang. Nilai karbon terikat berbanding terbalik dengan kadar abu serta zat terbang. Sehingga semakin tinggi kadar abu dan zat terbang, semakin kecil karbon terikat. Sejalan dengan penelitian ini, nilai kadar abu dan terbang terendah pada pelet dengan penambahan tempurung kelapa sebanyak 75%, maka karbon terikat tertinggi untuk penelitian ini pada persentase kombinasi bahan yang sama. Karbon terikat merupakan indikator untuk mengetahui jumlah material padat yang dapat terbakar, setelah komponen zat terbang dihilangkan dari bahan bakar (Speight 2005). Menurut Junary et al. (2015), semakin tinggi kadar karbon terikat maka nilai kalor semakin tinggi. Jika dibandingkan dengan standar SNI (minimal 14%), maka pelet dengan penambahan tempurung kelapa 75% telah memenuhi standar, namun pelet dengan penambahan tempurung kelapa di bawah 75% belum memenuhi standar.

Sifat ultimat

Karbon

Berdasarkan Tabel 2 kadar karbon (C) hasil uji ultimat tertinggi terdapat pada pelet dengan penambahan tempurung kelapa sebanyak 75%, sedangkan terendah pada pellet control. Kadar

karbon (C) yang tinggi pada uji ultimat sejalan dengan hasil nilai karbon terikat pada penelitian ini. Menurut Friedl et al. (2005) dalam (Miranda et al. 2015) analisis ultimat penting untuk menentukan sifat termal bahan bakar biomasa. Terdapat korelasi positif antara nilai kalor dengan sifat ultimat (karbon, hidrogen, dan oksigen), yaitu semakin tinggi persentase karbon maka semakin tinggi HHV (*high heating value*) (Miranda et al. 2015; Liu et al. 2016). Hal ini disebabkan karena karbon (C) dan hidrogen (H) bersama-sama bertanggung jawab atas kandungan energi dalam bahan bakar biomasa, reaksi eksotermal yang terjadi dengan O₂ selama pembakaran, dari masing-masing unsur menghasilkan CO₂ dan H₂O.

Tabel 2. Rata-rata kadar ultimat pelet campuran sengon dengan tempurung kelapa

Table 2. Ultimate analysis of pellets from *F. moluccana* mix with *Cocos nucifera* shell

Penambahan tempurung kelapa	Karbon % Adb	Hidrogen % Adb	Nitrogen % Adb	Sulfur % Adb	Oksigen % Adb
Kontrol (0%)	44,83	6,51	0,55	0,07	46,53
25%	44,98	6,40	0,44	0,05	46,73
50%	45,64	6,34	0,38	0,05	46,45
75%	46,08	6,17	0,26	0,04	46,48

Penambahan tempurung kelapa sebesar 50-75% dalam pelet sengon dapat meningkatkan persentase karbon (C) 1,76-2,79% (Tabel 2). Hal ini disebabkan karena kadar karbon pada tempurung kelapa lebih tinggi yaitu sebesar 50,22%, sedangkan kadar karbon sengon sebesar 47,2% (Singh et al. 2012; Acda 2015). Sehingga dengan memadukan kedua biomasa (sengon dan tempurung kelapa) merupakan cara yang efektif untuk mengoptimalkan sifat bahan bakar pelet sengon. Jika dibandingkan dengan standar CEN/TC 335 dalam (Oberberger et al. 2006) (≥ 49%), karbon pada penelitian ini belum memenuhi standar.

Hidrogen

Tabel 2 menunjukkan persentase hidrogen terendah adalah pada pelet dengan penambahan tempurung kelapa sebanyak 75%, dan yang tertinggi pada kontrol (0%). Penambahan tempurung kelapa hingga 75% berpengaruh terhadap penurunan kadar hidrogen sebesar 5,2%, dari 6,51% menjadi 6,17%. Hal ini disebabkan karena kadar hidrogen pada sengon lebih tinggi yaitu sebesar 6,51% dibandingkan dengan

kadar hidrogen tempurung kelapa yaitu 5,7% (Singhet al. 2012). Unsur C, H, dan O adalah komponen utama bahan bakar biomasa. C dan H teroksidasi selama pembakaran oleh reaksi eksotermik (pembentukan CO₂ dan H₂O) dan berkontribusi terhadap GCV (*gross calorific value*), sedangkan H mempengaruhi NCV (*net calorific value*) karena pembentukan air (Oberberger et al. 2006). Jika dibandingkan dengan standar CEN/TC 335 ($\leq 6,2\%$), pelet dengan penambahan tempurung kelapa sebanyak 75% telah memenuhi standar sedangkan kombinasi lainnya belum memenuhi standar.

Nitrogen

Setiap penambahan 25% partikel tempurung kelapa pada pelet sengon dapat menurunkan kadar nitrogen sebesar 20-52,7% (Tabel 2). Hal ini disebabkan karena kadar nitrogen pada tempurung kelapa lebih rendah yaitu sebesar 0,28%, sedangkan kadar nitrogen sengon sebesar 2,41% (Acda 2015; Sonarkar & Chaurasia, 2017). Kadar nitrogen terendah dihasilkan pada pelet dengan penambahan tempurung kelapa sebanyak 75% (0,26%), dan tertinggi pada kontrol (0%) (0,55%). Analisis ultimat berguna untuk memprediksi unsur-unsur yang menyebabkan peningkatan emisi berbahaya (SO_x dan NO_x) (Miranda et al. 2015). Selama pembakaran bahan bakar unsur N hampir seluruhnya diubah menjadi gas N₂ dan nitrat oksida (NO_x [NO, dan NO₂]). Dampak lingkungan utama dari pembakaran *biofuel* padat disebabkan oleh emisi NO_x. Emisi NO_x meningkat seiring dengan meningkatnya unsur N pada bahan bakar (Oberberger et al. 2006). Hasil kadar nitrogen pada penelitian ini lebih rendah jika dibandingkan dengan kadar nitrogen pelet sengon yang dilakukan oleh Acda (2015). Hal ini disebabkan karena adanya kombinasi bahan sengon dengan tempurung kelapa. Pada pelet kayu sengon penelitian Acda (2015), kadar nitrogen pelet sebesar 2,41%, sedangkan pada penelitian ini kadar nitrogen pelet tertinggi berkisar 0,26-0,44% dengan penambahan tempurung kelapa sebesar 25-75%. Jika dibandingkan dengan standar EnPlus ($\leq 0,5\%$), standar IWPB ($\leq 0,5\%$), dan ISO 16948 ($\leq 0,5\%$) maka pelet sengon dengan penambahan tempurung kelapa 25% hingga 75% telah memenuhi standar, sedangkan pada pelet kontrol (0%) belum memenuhi standar.

Penambahan tempurung kelapa pada pelet sengon dapat dilakukan untuk meningkatkan kualitas pelet sehingga dapat memenuhi standar persentase nitrogen pada pelet.

Sulfur

Hasil uji ultimat pada Tabel 2 menunjukkan dengan penambahan partikel tempurung kelapa 75% pada pelet sengon memberikan penurunan yang signifikan terhadap kadar sulfur yaitu sebesar 42,86%, yaitu dari 0,07% menjadi 0,04%. Kadar sulfur tertinggi pada pelet kontrol (0%) dan terendah pada pelet dengan penambahan tempurung kelapa sebanyak 75%. Hal ini disebabkan karena kadar sulfur pada tempurung kelapa lebih rendah yaitu sebesar 0%, sedangkan kadar sulfur sengon sebesar 0,08% (Singh et al. 2012; Acda 2015). Analisis ultimat berguna untuk memprediksi unsur-unsur yang menyebabkan peningkatan emisi berbahaya (SO_x dan NO_x) (Miranda et al. 2015). Sulfur yang terkandung pada bahan bakar biomasa padat membentuk gas SO₂ (sampai batas tertentu gas SO₃) dan alkali. Residu sulfur dalam gas pembakaran berupa aerosol dan dalam bentuk gas berupa SO₂. Emisi SO₂ tidak signifikan untuk pembakaran bahan biomasa (kayu) karena kadar S pada biomasa yang rendah, masalah terkait emisi jika kadar S di atas 2% (*dry basis*). Hal penting terkait kadar sulfur adalah masalah korosi yang disebabkan oleh kadar sulfur yang tinggi. Konsentrasi SO₂ yang tinggi dalam gas pembakaran (*flue gas*) menyebabkan sulfasi alkali, dengan penurunan suhu gas pembakaran (*flue gas*). Hal tersebut mengarah pada pelepasan Cl, jika reaksi ini terjadi pada partikel abu yang diendapkan pada permukaan tabung maka menyebabkan korosi dengan pembentukan FeCl₂ atau ZnCl₂ (Oberberger et al. 2006). Hasil kadar sulfur pada penelitian ini lebih rendah jika dibandingkan dengan kadar sulfur pelet sengon yang dilakukan oleh Acda (2015). Hal ini disebabkan karena adanya kombinasi bahan sengon dengan tempurung kelapa. Pada pelet kayu sengon penelitian Acda (2015), kadar sulfur pelet sebesar 0,08%, sedangkan pada penelitian ini kadar sulfur pelet tertinggi berkisar 0,04-0,05% dengan penambahan kombinasi tempurung kelapa sebesar 25-75%. Jika dibandingkan dengan standar IWPB ($\leq 0,2\%$) maka semua kombinasi pelet telah memenuhi

standar. Sedangkan pada ISO 16994 ($\leq 0,05\%$) pelet sengon dengan penambahan tempurung kelapa 25% hingga 75% telah memenuhi standar. Namun pada standar EnPlus ($\leq 0,03\%$), dan standar CEN/TC 335 ($\leq 0,02\%$) semua pelet pada penelitian ini belum memenuhi kedua standar tersebut.

Nilai kalor

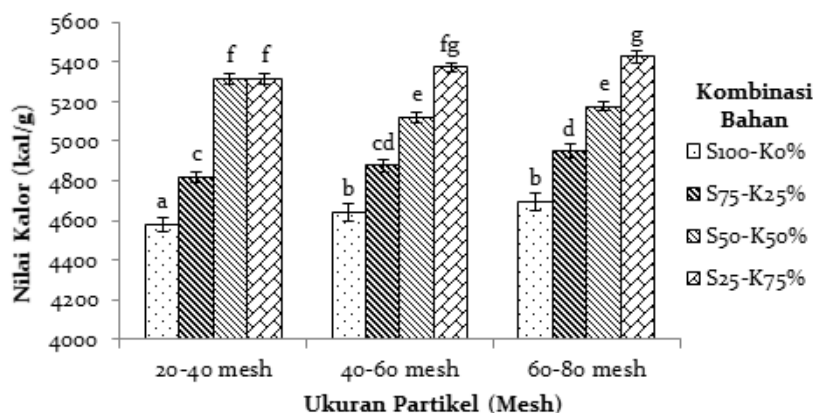
Nilai kalor hasil penelitian ini berkisar antara 4579,94 - 5426,69 kal/g, nilai kalor tertinggi terdapat pada pelet dengan penambahan tempurung kelapa sebanyak 75% dengan ukuran partikel 60-80 mesh, sedangkan nilai terendah pada pelet control dengan ukuran partikel 20-40 mesh (Gambar 2). Hasil uji HSD menunjukkan bahwa setiap penambahan 25% tempurung kelapa dapat meningkatkan nilai kalor pelet secara signifikan. Sehingga komposisi sengon dan tempurung kelapa yang berbeda menyebabkan variasi nilai kalor pelet.

Kandungan energi bahan bakar ditentukan oleh panas pembakaran dari bahan biomasa, sifat tersebut dipengaruhi oleh kandungan/komponen biomasa, kadar air, zat mudah menguap, dan karbon terikat bahan. Kadar air, kadar abu, dan zat mudah menguap berbanding terbalik dengan nilai kalor (Shengzou et al. 2013 dalam Wibowo 2017). Sedangkan karbon terikat berbanding lurus dengan nilai kalor (Saputro et al. 2012). Salah satu komponen biomasa yang sangat berpengaruh terhadap nilai kalor adalah kadar abu (Poddar et al. 2014). Tabel 1 menunjukkan bahwa kadar abu terendah adalah pada pelet dengan penambahan tempurung kelapa sebanyak 75%,

sehingga nilai kalor yang didapatkan pada kombinasi tersebut juga tertinggi. Sejalan dengan penelitian Harun dan Afzal (2016), kombinasi bahan dapat meningkatkan sifat bahan bakar pelet. Nilai kalor pada penelitian ini lebih besar dibandingkan dengan nilai kalor pelet sengon Acda et al. (2015). Dengan penambahan serbuk tempurung kelapa 50-75% nilai kalor pada penelitian ini mencapai 5030,51-5426,69 kal/g, sedangkan pelet sengon pada penelitian Acda et al. (2015) sebesar 4745,87 kal/g. Jika dibandingkan dengan standar SNI (≥ 4000 kal/g), ISO 18125 ($\geq 3940,96$ kal/g), standar EnPlus ($3893,19 \leq CV \leq 4538,07$ kal/g), dan standar IWPB ($\geq 3940,96$ kal/g), semua kombinasi pelet telah memenuhi standar tersebut.

Kesimpulan

Penambahan tempurung kelapa pada pelet kayu sengon memberikan pengaruh terhadap sifat fisika dan kimia pelet. Penambahan tempurung kelapa menurunkan keteguhan tekan dari pelet yang dihasilkan akan tetapi, penambahan tempurung kelapa dapat meningkatkan sifat energi dari pelet yang dihasilkan yaitu meningkatnya kadar karbon terikat dan nilai kalor. Kandungan N dan S yang merupakan unsur pencemar juga menurun. Pelet terbaik dihasilkan pada kombinasi penambahan tempurung kelapa 50% dengan ukuran 60-80 mesh yang memiliki sifat kadar abu yang rendah (0,79%) dan nilai kalor yang tinggi (5129,07 Kal/g), serta keteguhan tekan yang masih cukup tinggi (444,75N). Hasil tersebut memenuhi standar SNI 8021:2014.



Gambar 2. Histogram nilai kalor pelet campuran sengon dan tempurung kelapa pada berbagai ukuran partikel dan kombinasi bahan

Figure 2. Histogram calorific value of pellet *F. moluccana* mix with *Cocos nucifera* shell at various particle size and material combination

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada Sub. Laboratorium Energi Biomasa fakultas kehutanan UGM yang telah memfasilitasi penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Acda MN. 2015. Physico-chemical properties of wood pellets from coppice of short rotation tropical hardwoods. *Fuel* **160**:531-533.
- Alakangas E, Impola R. 2015. Quality guidelines for wood fuels in Finland: VTT-M-04712-15. [https://www.researchgate.net/publication/283496833_Quality_guidelines_of_wood_fuels_in_Finland_VTT-M-04712-15]. diakses pada tanggal 20 April 2018.
- American Society for Testing and Materials. 2006. ASTM D1762-84: Analysis of wood charcoal. USA: American Society for Testing and Materials.
- American Society for Testing and Materials. 2008. ASTM D5373-08: Standard test methods for instrumental determination of carbon, hydrogen, and nitrogen in laboratory samples of coal. USA: American Society for Testing and Materials.
- American Society for Testing and Materials. 2013. ASTM D3172-13: Standard practice for proximate analysis of coal and coke. USA: American Society for Testing and Materials.
- American Society for Testing and Materials. 2000. ASTM D2015-00: Standard test method for gross calorific value of coal and coke by the adiabatic bomb calorimeter. USA: American Society for Testing and Materials.
- Badan Standarisasi Nasional. 2014. SNI 8021:2014, Pelet kayu. Badan Standarisasi Nasional.
- Carone MT, Pantaleo A, Pellerano A. 2011. Influence of process parameters and biomass characteristics on the durability of pellets from the pruning residues of *Olea europaea* L. *Biomass and Bioenergy* **35**(1): 402-410.
- CEN/TS 14588. 2003. Solid biofuels e terminology, definitions and descriptions, european committee for standardization.
- Dick EP, Ryabov GA, Tugov AN. 2007. Comparing properties of coal ash and alternative-fuel ash. *Therm Eng* **54**: 231-235.
- EnPlus. 2015. Quality certification scheme for wood pellets. https://enplus-pellets.eu/en-in/component_attachments/?task=download&id=102. Diakses 23 Februari 2018.
- Gomez KA, Gomez AA. 1995. Prosedur statistik untuk penelitian pertanian. sjamsudin e, justika s, dan baharsjah (Penerjemah). Penerbit Universitas Indonesia. Jakarta.
- Harun NY, Afzal MT. 2016. Effect of particle size on mechanical properties of pellets made from biomass blends. *Procedia Engineering* **148**: 93-99.
- Hendra D. 2012. Rekayasa pembuatan mesin pelet kayu dan pengujian hasilnya (design and manufacture of wood pellets machine and testing of its product). *Jurnal Penelitian Hasil Hutan* **30**(2): 144-154.
- IWPB. 2012. Proposal for sustainability principles for woody biomass sourcing and trading. Initiative Wood Pellets Buyers (IWPB) Working Group on Sustainability, Linkebeek.
- Junary E, Pane JP, Herlina N. 2015. Pengeruh suhu dan waktu karbonisasi pada pembuatan bioarang berbahan baku pelepah aren (*Arenga pinnata*). *Jurnal Teknik Kimia USU* **4**(2): 46-52.
- Kaliyan N, Morey VR. 2009. Factors affecting strength and durability of densified biomass products. *Biomass and Bioenergy* **33**(3): 337-359.
- Liyanage CD, Pieris M. 2015. A physico-chemical analysis of cococnut shell powder. *Procedia Chemistry* **16**: 222-228.
- Liu Z, Quek A, Balasubramanian R. 2014. Preparation and characterization of fuel pellets from woody biomass, agro-residues and their corresponding hydrochars. *Applied Energy* **113**: 1315-1322.
- Liu Z, Mi B, Jiang Z, Fei B, Cai Z, Liu X. 2016. Improved bulk density of bamboo pellets as biomass for energy production. *Renew Energy* **86**: 1-7.
- Mani S, Tabil LG, Sokhansanj S. 2006. Effects of compressive force, particle size and moisture content on mechanical properties of biomass pellets from grasses. *Biomass and Bioenergy*, **30**(7). pp.648-654.
- Miranda T, Montero I, Sepúlveda FJ, Arranz JI, Rojas CV, Nogales S. 2015. A review of pellets from different sources. *Materials* **8**(4): 1413-1427.
- 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.
- Nguyen QN, Cloutier A, Achim A, Stevanovic T. 2015. Effect of process parameters and raw material characteristics on physical and mechanical properties of wood pellets made from sugar maple particles. *Biomass and Bioenergy* **80**: 338-349.
- Obernberger I, Thek G. 2010. The pellet handbook: The production and thermal utilisation of biomass pellets, London, Washington DC.
- Pari G. 1996. Analisis komponen kimia dari kayu sengon dan kayu karet pada beberapa macam umur. *Buletin Penelitian Hasil Hutan* **14**(8): 321 - 327.
- Poddar S, Kamruzzaman M, Sujana SMA, Hossain M, Jamal MS, Gafur MA, Khanam M. 2014. Effect of compression pressure on lignocellulosic biomass pellet to improve fuel properties: Higher heating value. *Fuel* **131**: 43-48.
- Reginald Child R, Ramanathan S. 1938. Composition of coconut shells. *J. Am. Chem. Soc.* **60** (6): 1506-1507.
- Saptoadi H. 2008. The best biobriquette dimension and its particle size. *Asian J. Energy Environ.* **9**(3): 161-175.

- Sari NK. 2009. Pembuatan bioetanol dari rumput gajah dengan destilasi batch. *Jurnal Teknik Kimia Indonesia* **8**(3): 94-103.
- Singh M, Singh R, Gill G. 2015. Estimatiang the correlation between the calorific value and elemental components of biomass using regrassion analysis. *International Journal of Industrial Electronics and Electrical Engineering* **3**(9): 18-23.
- Speight JG. 2005. *Handbook of coal analysis*. New Jersey: John Wiley & Sons Inc
- Sonarkar PR, Chaurasia AS. 2018. Thermal performance of three improved biomass-fired cookstoves using fuel wood, wood pellets and coconut shell. *Environment, Development and Sustainability: A Multidisciplinary Approach to the Theory and Practice of Sustainable Development*, Springer, **21**(3). Pp.1429-1449
- Sylviani, Suryandari EY. 2013. Studi kasus di kabupaten wonosobo (potential development of wood pellets as renewable fuel , case study of wonosobo district). *Jurnal Penelitian Sosial dan Ekonomi Kehutanan* **10**(4): 235-246.
- Wibowo S, Laia DPO, Mohammad K, Gustan P. 2017. Karakterisasi karbon pelet campuran rumput gajah (*Pennisetum Purpureum Scumach*) dan tempurung nyamplung (*Calophyllum Inophyllum* Linn). *Jurnal Penelitian Hasil Hutan* **35**(1): 73-82.