



## Pengaruh Penambahan Tepung Tapioka Pada Karakteristik Pelet Kayu dari Limbah Cabang Kayu Jati Perhutani Plus (JPP)

*The Effect of Tapioca Starch Adding on the Characteristics of Wood Pellets from Teak Branch Waste*

Santiyo Wibowo<sup>1\*</sup>, Iwan Gunawan<sup>2</sup>, Gustan Pari<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Pusat Standardisasi Instrumen Pengelolaan Hutan Berkelanjutan, Bogor, 16610

<sup>2</sup>Pusat Penelitian dan Pengembangan Perhutani, Cepu 58302

\*Email: santiyowibowo1973@yahoo.co.id

### HASIL PENELITIAN

DOI: 10.22146/jik.v16i1.1807

### RIWAYAT NASKAH :

Diajukan (submitted): 4 Mei 2021

Diperbaiki (revised): 4 Agustus 2021

Diterima (accepted): 21 Januari 2022

### KEYWORD

pellets, teak, thinning, waste, tapioka

### KATA KUNCI

pelet, jati, limbah, penjarangan, tapioka

### ABSTRACT

*In the cultivation of teak plus Perhutani (JPP) plantations, there is a thinning cycle of plants at a certain age to produce optimal plant growth for other teak trees. The wood waste from thinning in the form of tree tips and branches/twigs is commonly only used as firewood. One of the efforts to diversify the use of thinned JPP wood is processing it into wood pellets. The raw material used is ten years old thinning teak from Perhutani KPH Pemalang, Central Java. The purpose of this study was to identify the effects of adding tapioca flour on the quality of wood pellets from teak branch waste. In this study, the manufacture of pellets was carried out with treatments without the addition of tapioca and the addition of 2.5%, 5%, 7.5%, and 10% w/w of tapioca adhesive. The results showed that the waste of teak branch can be used as raw material for wood pellets, with the characteristics of the water content 6.51-6.97%, volatile matter 76.01-77.37%, ash content 1.37-1.67%, fixed carbon 14.74-15.49%, density 1.14-1.31 g/cm<sup>3</sup> and heat value 4192-4319.67 cal/g. The results showed that all parameters met SNI 8021-2014, except for the ash content in the control and 2.5% tapioca treatment.*

### INTISARI

Pada pengusahaan hutan tanaman jati plus perhutani (JPP) terdapat siklus penjarangan tanaman pada umur tertentu agar dihasilkan pertumbuhan tanaman yang optimal pada tanaman jati lainnya. Limbah kayu hasil penjarangan berupa bagian ujung pohon dan percabangan/ranting umumnya hanya dimanfaatkan sebagai kayu bakar. Salah satu usaha diversifikasi pemanfaatan kayu JPP hasil penjarangan adalah mengolahnya menjadi pelet kayu. Bahan baku yang digunakan merupakan kayu jati penjarangan berusia 10 tahun dan berasal dari Perhutani, KPH Pemalang Jawa Tengah. Tujuan kegiatan ini adalah untuk memperoleh informasi tentang pengaruh penambahan tepung tapioka terhadap kualitas pelet kayu dari limbah cabang kayu jati. Pada kegiatan ini pembuatan pelet dilakukan dengan cara tanpa penambahan tepung tapioka dan penambahan tapioka 2,5%, 5%, 7,5% dan 10% b/b. Hasil kegiatan diperoleh informasi bahwa limbah cabang kayu jati plus hasil penjarangan dapat digunakan sebagai bahan baku pelet kayu dengan karakteristik yaitu kadar air 6,51-6,97% %, zat terbang 76,01-77,37%, kadar abu 1,37-1,67%, karbon terikat 14,74-15,49%, kerapatan 1,14-1,31 g/cm<sup>3</sup> dan nilai kalor 4192-4319,67 kal/g. Hasil analisis menunjukkan semua parameter memenuhi SNI 8021-2014 kecuali kadar abu pada kontrol dan tapioka 2,5%.

## Pendahuluan

Energi merupakan kebutuhan penting bagi kelangsungan hidup manusia salah satunya adalah bahan bakar fosil yang mulai dimanfaatkan sejak 1860 an sampai saat ini (Cainenga et al. 2016). Akan tetapi, sifat *non renewable* bahan bakar fosil menjadi permasalahan yang tidak dapat diatasi kecuali dengan mencari alternatif penggantinya. Indonesia memiliki cadangan (*proven reserve*) minyak bumi sekitar 3,3 milyar barrel, dengan asumsi produksi konstan 800.000 barel per hari (bph); maka, dalam 11 sampai 12 tahun kedepan Indonesia tidak mampu memproduksi minyak bumi bila tidak ditemukan cadangan baru (Guitarra & Kartika 2018). Untuk menghadapi kondisi tersebut, selain perlu dicari cadangan baru, diperlukan juga bahan alternatif pengganti minyak bumi yang bersifat dapat diperbarui yang berasal dari biomassa pertanian dan kehutanan. Indonesia sudah memberikan porsi sebesar 17% untuk pengembangan energi baru terbarukan hingga tahun 2025 sesuai Peraturan Presiden Nomor 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional.

Salah satu energi baru terbarukan yang dapat dikembangkan adalah bioenergi dari biomassa yaitu pelet kayu. Pelet merupakan bentuk modern dari biomassa yang dipadatkan yang berasal dari sisa-sisa kayu dan campuran biomassa melalui proses penggilingan, pengeringan dan pemadatan. Dengan proses tersebut dihasilkan produk dengan kepadatan tinggi dibandingkan dengan biomassa tradisional tanpa pengolahan, selain itu memudahkan dalam transportasi jumlah besar, penyimpanan dan pembakaran (Purohit & Chaturvedi 2018).

Salah satu biomassa yang dapat dijadikan sebagai energi alternatif pelet kayu adalah kayu jati plus Perhutani (JPP). Pada perusahaan kayu JPP terdapat masa penjarangan tanaman agar diperoleh pertumbuhan kayu jati pilihan. Tanaman hasil

penjarangan hanya memanfaatkan batang utamanya saja sepanjang  $\pm 8$  m untuk kayu pertukangan, sedangkan limbah bagian ujung dan percabangan tidak dimanfaatkan atau hanya digunakan untuk keperluan kayu bakar masyarakat. Cabang pohon merupakan bagian batang kayu yang tumbuh dari pokok atau dahan dan umumnya dipangkas dari batang utama saat pemanenan kayu. Menurut Matangaran dan Anggoro (2012), pada pemanenan jati kelas umur 5 tahun diperoleh limbah cabang dan ranting sebesar 8,001 m<sup>3</sup> per 40 sampel pohon di panen. Secara umum kayu jati hasil panen yang dapat dimanfaatkan sebesar 79,61% dan limbahnya 20,39%.

Pembuatan pelet dengan berbagai bahan baku telah dilakukan baik biomassa kayu maupun non kayu, seperti pelet dari kulit kacang tanah, bagase, kayu eucaliptus, pinus, spruce dan lainnya (Wibowo & Lestari 2018; Lubisi et al. 2016; Keipi et al. 2014). Salah satu sumber bahan baku pelet kayu adalah bagian cabang kayu JPP yang selama ini tidak dimanfaatkan, selain sebagai kayu bakar atau dibiarkan membusuk di lapangan. Salah satu faktor keberhasilan pencetakan pelet kayu adalah bahan perekat baik yang terdapat di dalam bahan baku, berupa lignin atau bahan perekat tambahan seperti tepung kentang, tepung gandum, bubur kentang, tepung jagung, dan tepung singkong/tapioka (Kuokkanen et al. 2011; Tarasov et al. 2013; Obidzinski et al. 2016; Gageanu et al. 2018; Falemara et al. 2018). Selain itu juga telah digunakan tepung *rapeseed*, tepung kopi, kulit kayu, buah pinus, bubuk lignin sebagai perekat pelet kayu (Ahn et al. 2014). Menurut Anizar et al. (2020) tepung tapioka mempunyai daya rekat lebih tinggi dibandingkan tepung lainnya bila dijadikan perekat. Penambahan perekat tapioka umumnya dilakukan dengan menambahkan air mendidih atau dimasak sampai berbentuk kanji, atau hanya sebagai larutan air dingin yang ditambahkan tepung tapioka pada perbandingan tertentu; selanjutnya,

dicampurkan pada bahan baku dan dicetak menggunakan alat pres hidrolik (Falemara et al. 2018; Suwadi & Pebriana, 2018). Pemakaian kanji akan memerlukan energi tambahan untuk merubah tapioka menjadi kanji dan dapat meningkatkan kadar air pelet sehingga memerlukan energi lagi untuk proses pengeringan pelet sebelum dikemas. Untuk menghemat energi yang digunakan dalam proses kanji dan pengeringan, perlu dilakukan kajian penambahan tepung tapioka secara langsung pada bahan baku tanpa proses kanji. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik pelet dari limbah cabang kayu jati plus Perhutani (JPP) dengan penambahan tepung tapioka secara langsung tanpa melalui proses pengkanjian menggunakan mesin pelet kontinyu model *Rotating Roller R type*.

## Bahan dan Metode

### Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan antara lain limbah bagian cabang kayu jati hasil penjarangan tanaman JPP berusia 10 tahun yang berasal dari Perhutani, KPH Pemalang, Jawa Tengah dan tepung tapioka dengan kadar air 11,5%, kadar pati 87,8%, kadar abu 0,15%. Bahan kimia analisis diantaranya  $H_2SO_4$  (Merck), NaOH (Merck),  $Na_2S_2O_3$  (Merck),  $KMnO_4$  (Merck), KI (Merck), aquades. Alat digunakan dalam kegiatan ini adalah oven, timbangan, ayakan, wadah penampung, alat *chipping* kayu (*cruse shaft*) 7,5 kW, mesin penyerbuk (*hammer mill*) 22 kW, mesin pelet tipe *Rotating Roller* (bagian roller atau roda yang berputar sedangkan plat cetakan dalam posisi diam), diameter plat cetakan (*die*) 29 cm dengan tebal 5 cm, terdapat sekitar 225 lubang pelet berdiameter 8 mm. Diameter roller atau roda besi yang terpasang di tengah sumbu penggerak adalah 13 cm dengan lebar roda 7 cm. Alat pelet menggunakan tenaga listrik 20 kW dengan kapasitas 150-200 kg/jam.

Pada bahan baku dilakukan analisis kadar air, kadar abu, zat terbang, karbon terikat (SNI 06-4369-1996), selulosa (SNI 01-1303-1989), hemiselulosa (SNI 14-1304-1989), lignin (SNI SNI 8429:2017), dan ekstraktif (SNI 14-1032:1989 – kelarutan dalam ekstrak alkohol benzena, kelarutan air panas dan air dingin (SNI 01-1305-1989) dan kelarutan dalam NaOH 1% (SNI ISO 692:2010).

### Metode Penelitian

Kegiatan pembuatan pelet kayu jati dilakukan sebagai berikut: kayu jati plus berdiameter 10-12 cm dihancurkan menjadi serpihan kayu; selanjutnya, diserbuk menggunakan *hammer mill* sehingga diperoleh serbuk berukuran 5-10 mesh dengan kadar air  $14 \pm 2\%$ . Perlakuan penambahan tepung tapioka dilakukan sebagai berikut: A= tanpa penambahan tapioka, B= penambahan tapioka 2,5%, C= 5%, D=7,5% dan E=10%. Penambahan tepung tapioka dilakukan secara langsung pada serbuk kayu jati tanpa tambahan air atau proses menjadi kanji. Serbuk yang sudah ditambahkan tapioka diaduk agar tepung tersebar merata; selanjutnya, di cetak menggunakan mesin pelet tipe *rotating roller (R type)* secara kontinu. Setiap perlakuan menggunakan 5 kg serbuk dan diulang sebanyak 3 kali. Pelet yang dihasilkan dianalisis sifat fisik kimianya yaitu kadar air, kadar abu, zat terbang, karbon terikat, nilai kalor, densitas (SNI 8021-2014) dan daya tahan pelet (*durability*). Analisis ultimate CHONS (Elemental – Analyzer, Perkin Elmer 2400 CHN) digunakan untuk analisis jumlah karbon, hidrogen, oksigen, nirtogen, dan sulfur dalam pelet.

Pengujian daya tahan pelet ditentukan oleh kehilangan massa sampel mengikuti prosedur Liu et al. (2013) yang dimodifikasi dengan cara sebagai berikut: sejumlah 100 g pelet dalam setiap perlakuan diambil secara acak dan ditimbang; massa awal dicatat; kemudian dimasukkan ke dalam ayakan getar

vibrating sieve (250 watt dengan frekuensi 50 Hz) dengan ukuran lubang 3,17 mm (1/8 in) selama 10 menit, kecepatan 300 geteran per menit, lalu ditimbang kembali dan dicatat. Daya tahan pelet dihitung menggunakan persamaan di bawah ini:

$$P_d = 100 - (m_i - m_f) / m_i \times 100\% \quad (1)$$

di mana  $P_d$  adalah *pelet durability* (%),  $m_i$  adalah massa awal sampel (g) dan  $m_f$  adalah massa akhir sampel (g).

Uji pembakaran dilakukan untuk mengetahui karakteristik pelet sebagai bahan bakar. Pengujian dilakukan menggunakan kompor biomassa model UB-03 dengan efisiensi pembakaran 40-50% (Yuswansyah et al. 2013) dengan metode pendidihan air (*water boiling test*). Parameter yang diukur adalah waktu pendidihan 1,5 L air, tingkat konsumsi pelet dan efisiensi termal (Belonio 2005). Pengujian diulang sebanyak tiga kali. Analisis data menggunakan ANOVA satu arah menggunakan alat bantu SPSS 22. Jika hasilnya berbeda nyata, maka *dilanjutkan dengan uji Duncan* untuk mengetahui *beda nyata* antar perlakuan.

## Hasil dan Pembahasan

### Analisis Proksimat Jati Plus

Hasil analisis (Tabel 1) menunjukkan bahwa bagian cabang kayu jati plus hasil penjarangan umur 10 tahun yang sudah diserbukkan mempunyai kadar holoselulosa sebesar 66,08%; hasil ini sesuai dengan

polisakarida kayu pada umumnya yang berkisar antara 65-75% (Rowell et al. 2005), tetapi lebih rendah dari holoselulosa bagian pangkal kayu jati rakyat Gunung Kidul sebesar 77,09-78,48% (Lukmandaru et al. 2016). Holoselulosa merupakan kombinasi selulosa dan hemiselulosa serta sejumlah kecil polimer gula seperti pati dan pectin (Rowell et al. 2005). Kadar  $\alpha$ -selulosa jati plus umur 10 tahun sebesar 45,52% dan kadar hemiselulosa yang ditentukan sebagai pentosan sebesar 20,44%. Hemiselulosa terutama terdapat di dinding sel primer dan mempunyai struktur kimia yang bercabang dan bervariasi. Cabang-cabangnya merupakan gula polimer yang terdiri dari kombinasi gula cincin 5 dan 6 karbon (Patel & Parsania 2018).

Kadar ekstraktif kayu jati plus dapat dilihat pada Tabel 1. Kayu mengandung zat ekstraktif primer, yang terdapat di semua kayu, dan ekstraktif sekunder, yang terbatas pada spesies kayu tertentu. Ekstraktif berperan dalam proses ikatan kayu, karena dapat berkontribusi atau menentukan sifat ikatan kayu yang relevan seperti keasaman dan keterbasahan sehingga berperan penting dalam ikatan serpihan kayu dan serat kayu dengan perekat sintesis umum seperti urea formaldehyde resins dan phenol formaldehyde resins (Roffael 2016).

Menurut Liu et al. (2014), kehadiran ekstraktif menyebabkan pembentukan hubungan partikel-partikel yang berdekatan seperti sebuah jembatan (*liquid bridge*) sehingga secara signifikan meningkatkan gaya tarik menarik termasuk ikatan-H

**Tabel 1.** Sifat fisiko kimia cabang kayu JPP umur 10 tahun  
**Table 1.** Physico-chemical properties of teak wood plus from Perhutani

Parameter	Kadar (standar deviasi)
Abu (%)	0,576 (0,06)
Silika (%)	0,118 (0,01)
Holoselulosa (%)	66,06 (0,19)
$\alpha$ -selulosa (%)	45,52 (0,07)
Hemiselulosa (%)	20,44 (0,13)
Lignin (%)	34,22 (0,25)
Ekstraktif dalam air dingin (%)	5,20 (0,48)
Ekstraktif dalam air panas (%)	6,01 (0,31)
Ekstraktif dalam larutan NaOH 1% (%)	14,22 (0,28)
Ekstraktif dalam larutan alkohol benzena (%)	1,35 (0,22)

dan gaya van der Waal yang berkontribusi besar pada ikatan yang kuat dalam matriks pelet. Kadar ekstraktif cabang kayu JPP sebesar 1,35%; hasil ini sesuai dengan penelitian Syahidah et al. (2007) yang memperoleh kadar ekstraktif alkohol benzena cabang kayu jati rakyat sebesar 1,92%.

Kadar lignin kayu jati plus umur 10 tahun adalah 34,22% (Tabel 1). Kadar lignin tersebut sedikit lebih tinggi dari lignin kayu jati (*Tekctona grandis* L.f) rakyat dari Kabupaten Gunung Kidul (dbh 28-37 cm) yang berkisar 32,23-33,52% (Lukmandaru et al. 2016). Menurut Ahn et al. (2014), lignin merupakan komponen dalam kayu, yang memainkan peran penting untuk menjaga integritas struktural pelet kayu selama proses pembuatan pelet. Hasil analisis ini menunjukkan bahwa bagian cabang kayu JPP dapat digunakan sebagai bahan baku pelet kayu.

**Karakteristik mutu pelet kayu jati plus**

*Kadar air*

Nilai kadar air yang diperoleh berkisar 6,51-6,97% (Table 2). Penambahan 2,5% dan 5% tapioka terjadi sedikit peningkatan kadar air, tetapi pada

penambahan 7,5% dan 10% tapioka, kadar air pelet lebih rendah dari kontrol. Hal ini diduga pada penambahan 2,5% dan 5% tapioka belum dapat mengikat kandungan air bahan baku dibandingkan pada penambahan tapioka 7,5% dan 10%. Meskipun demikian, hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa penambahan tapioka tidak berpengaruh nyata terhadap kadar air pelet kayu (Tabel 2). Menurut Chisté et al. (2015), tepung tapioka mempunyai kemampuan untuk mengikat kadar air bahan, semakin banyak tapioka yang ditambahkan akan semakin banyak air bahan yang terikat. Pada saat proses pencetakan pelet suhu antara plat cetakan dan roller akan naik, berdasarkan hasil pengukuran suhunya dapat mencapai 90-110°C. Panas yang dihasilkan akan menyebabkan tepung tapioka membentuk gelatinisasi dan juga terjadi proses penguapan air pada pelet. Perbedaan pengaruh penambahan bahan aditif pada kadar air pelet kayu juga terjadi pada penelitian lainnya. Obidzinski et al. (2016) menemukan bahwa penambahan bubur kentang 10%, 20% dan 30% dapat meningkatkan kadar air pelet kayu, peningkatan kadar air pelet terjadi karena kadar air bubur kentang tinggi >50%.

**Tabel 2.** Karakteristik pelet kayu jati plus Perhutani  
**Table 2.** The characteristics of teak wood pellet from Perhutani

Parameter	A	B	C	D	E	SNI 8021 <sup>a</sup>	EN 14961 <sup>b</sup>		
							A1	A2	B
Kadar air (%)	6,97(0,39)*	6,91(0,27)	6,54(0,79)	6,52(0,63)	6,51(0,50)	Maks.12	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Kadar zat terbang (%)	76,01(0,43)	76,15(0,17)	76,60(1,11)	76,87(0,81)	77,37(0,39)	Maks.80	-	-	-
Kadar abu (%)	1,67(0,16)	1,61(0,13)	1,37(0,07)	1,37(0,03)	1,37(0,07)	Maks.1,5	≤ 0,7	≤ 1,5	≤ 3,5
Karbon terikat (%)	15,35(0,10)	15,33(0,22)	15,49(0,42)	15,24(0,24)	14,74(0,11)	Min. 14	-	-	-
Kerapatan (g/cm <sup>3</sup> )	1,14(0,041)	1,18(0,203)	1,17(0,047)	1,31(0,043)	1,28(0,040)	Min.0,8	-	-	-
Ketahanan (%)	95,36(0,99)	98,16(0,30)	99,20(0,24)	97,07(0,92)	90,20(0,54)	-	≥97,5	>96,5	
Nilai kalor (kcal/g)	4247(46,9)	4289,3(55,2)	4192,0(65,6)	4285,7(67,8)	4319,7(36,4)	Min.4000	3940-4538	3890-4500	3820-4500

Sumber (sources): <sup>a</sup>BSN (2014); <sup>b</sup>Alakangas (2011)

Keterangan (Remarks)

A = Kontrol (Control)

B = Penambahan 2,5% tapioka (b/b) (2,5% w/w tapioca adding)

C = Penambahan 5% tapioka (b/b) (5% w/w tapioca adding)

D = Penambahan 7,5% tapioka (b/b) (7,5 5% w/w tapioca adding)

E = Penambahan 10% tapioka (b/b) (10% w/w tapioca adding)

\* = Standar deviasi (Standard deviation)

\*\* = Huruf yang sama tidak berbeda nyata (Mean value with the same letter are not significantly)

Sementara, pada penelitian Gageanu et al. (2018) yang menambahkan pati jagung 5%+ parafin 1,5% pada pelet jerami gandum diperoleh penurunan kadar air dari 8,25% (kontrol) menjadi 7,48%. Penurunan kadar air pada pelet jerami gandum diduga karena pati jagung jagung dapat bersifat mengikat air bahan.

Hasil penelitian ini menghasilkan pelet dengan kadar air yang sesuai dengan standar SNI 8021-2014 yang mensyaratkan kurang dari 12%, demikian juga dengan standar Eropa EN 14961 yang mensyaratkan kadar air pelet sebesar  $\leq 10$ . Hal ini dimungkinkan karena bahan baku awal cabang kayu JPP sudah cukup rendah yaitu sekitar 14%. Menurut Hansen et al. (2009), kadar air dapat berpengaruh pada nilai kalor suatu bahan. Biopellet yang mempunyai kadar air tinggi berakibat pada kurang efisiennya pembakaran dan nilai kalor yang rendah. Selain itu, pelet dengan kadar air yang tinggi cenderung menghasilkan lebih banyak partikel halus dan debu selama penanganan, transportasi dan penyimpanan. Kondisi tersebut bisa berakibat pada berkurangnya berat pelet, resiko kebakaran dan kesehatan pekerja (Gilvari et al. 2020). Kadar air tinggi juga dapat menyebabkan kerusakan saat penyimpanan akibat degradasi biologi seperti serangan jamur (Kymäläinen et al. 2015).

#### *Zat Terbang*

Hasil penelitian menunjukkan kadar zat terbang berkisar antara 76,01-77,37%. Kadar zat terbang terendah dihasilkan pada perlakuan tanpa penambahan tapioka, sedangkan kadar zat terbang tertinggi terdapat pada penambahan tapioka 10% (Tabel 2). Hasil analisis sidik ragam menunjukkan terdapat pengaruh nyata penambahan tapioka terhadap zat terbang. Hasil uji lanjut Duncan menunjukkan penambahan tapioka 2,5% tidak berbeda nyata dengan tapioka 5%, 7,5% dan kontrol tetapi berbeda nyata dengan 10%. Terdapat

kecenderungan penambahan perekat tapioka meningkatkan zat terbang pelet kayu. Hal ini disebabkan karena tepung tapioka mengandung pati yang cukup tinggi, dapat mencapai 88,8% (Grace & Henry 2020). Sementara, tepung tapioka yang digunakan dalam penelitian ini mengandung pati 87,8%. Pati merupakan polisakarida yang dihasilkan melalui fotosintesis pada tanaman, seperti juga pembentukan polimer selulosa, hemiselulosa dan lignin. Polimer alami ini apabila terbakar akan terurai menghasilkan zat terbang yang terdiri dari unsur-unsur seperti karbon, hidrogen, dan oksigen (Ajimotokan et al. 2019), sehingga penambahan tapioka memungkinkan meningkatnya zat terbang pada pelet kayu. Menurut Hansen et al. (2009), zat terbang berpengaruh terhadap proses dan kecepatan pembakaran serta asap yang dihasilkan karena semakin tinggi zat terbang maka bahan akan mudah terbakar dan menyala, tetapi akan memberikan banyak asap. Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa penambahan tapioka berpengaruh nyata pada zat terbang pelet. Meskipun demikian, penambahan tepung tapioka pada pelet kayu JPP memenuhi standar SNI 8021-2014 untuk semua perlakuan.

#### *Abu*

Kadar abu merupakan indikator untuk mengetahui besarnya abu yang diperoleh setelah selesai pembakaran. Kadar abu pelet kayu JPP berkisar antara 1,37-1,67 % (Tabel 2). Kadar abu tertinggi terdapat pada perlakuan kontrol dan terendah terdapat pada perlakuan penambahan tapioka di atas 2,5%. Analisis sidik ragam menghasilkan perbedaan yang signifikan penambahan tapioka. Uji lanjut Duncan menunjukkan perlakuan tapioka 5%, 7,5% dan 10% berada pada grup yang sama atau tidak berbeda nyata, tetapi berbeda dengan perlakuan kontrol dan tapioka 2,5% yang berada pada grup yang sama (Tabel 2). Hasil analisis pelet JPP pada

penambahan tapioka 5%, 7,5% dan 10% sudah memenuhi SNI, tetapi kontrol dan penambahan tapioka 2,5% belum memenuhi standar kadar abu maksimum 1,5% (SNI 8021-2014). Terdapat kecenderungan penambahan tapioka menurunkan kadar abu pelet cabang kayu jati. Hal ini dimungkinkan karena sifat tapioka yang mengandung polisakarida pati dengan daya rekat tinggi yang dapat mengikat air dan ion mineral di dalam bahan baku (Pietrzyk et al. 2013; Arifin et al. 2018). Karakteristik tapioka tersebut diduga dapat mempercepat pembakaran dan membantu leburnya beberapa mineral dalam pelet pada saat analisis kadar abu dengan suhu tinggi ( $\pm 700$  °C), sehingga kadar abu berkurang. Hasil ini sejalan dengan penelitian Gageanu et al. (2018) yang menemukan penurunan kadar abu pelet jerami gandum dari 8,03% menjadi 6,98% setelah ditambahkan 5% pati jagung + parafin 1,5%. Penelitian yang dilakukan oleh Biomasa Association dalam Tarasov et al. (2013) menyebutkan bahwa penambahan 0,5% pati gandum secara signifikan mengurangi kadar abu pelet kayu. Demikian juga hasil penelitian Falemara et al. (2018) bahwa penambahan 25% tepung tapioka akan menghasilkan kadar abu yang lebih rendah dibandingkan tepung tapioka 15% dan 20% pada briket campuran limbah pertanian dan sisa kayu. Sementara, hasil penelitian -Kuokkanen et al. (2011) menyatakan bahwa penambahan tepung kentang 1% tidak mempengaruhi kadar abu, tetapi dosis 2% dari aditif yang sama meningkatkan sedikit kadar abu dari 0,5% menjadi 0,6%. Kemudian, penelitian Obidzinski et al. (2016) yang menambahkan bubur kentang sebesar 10%, 20%, dan 30% hanya sedikit memberikan peningkatan kadar abu pelet sekam sorgum masing-masing 1,45%, 1,50%, dan 1,59%. Perbedaan hasil penelitian tersebut diduga dari teknik sediaan bahan aditif yang ditambahkan pada bahan baku pelet. Pada penelitian yang menghasilkan nilai

kadar abu yang menurun pada konsentrasi yang lebih besar (termasuk pada penelitian ini) adalah bahan aditif tepung tapioka diberikan secara langsung pada serbuk biomassa tanpa penambahan air, sedangkan pada penelitian dengan kadar abu yang meningkat seiring peningkatan jumlah tepung atau bahan aditif, dilakukan dengan cara menambahkan air pada tepung baik dalam bentuk kanji (cairan tepung dipanaskan sehingga terbentuk gel) atau disemprotkan pada bahan baku. Air mempunyai kandungan mineral yang memungkinkan dapat berkontribusi pada peningkatan kadar abu bahan baku pelet. Menurut Munfiah dan Setiani (2013), di dalam air terdapat jumlah padatan terlarut atau dikenal dengan TDS (*Total Dissolved Solid*) yaitu banyaknya padatan terlarut dalam cairan yang terdiri dari senyawa organik dan anorganik (mineral dan garamnya). Jumlahnya air tergantung dari sumber air, misalnya pada air sumur galian mempunyai TDS 578 - >10.000 mg/l dan sumur bor 291-1493 mg/l.

Tingginya kadar abu biomassa dapat disebabkan oleh kandungan mineral yang tinggi di dalam bahan seperti N, P, K, Ca, Mg dan S (Sari 2009). Kadar abu yang tinggi dalam bioenergi biomassa dapat menyebabkan peningkatan pengendapan kerak dan abu pada peralatan tungku atau kompor dan boiler atau terjadi peningkatan laju keausan elemen logam pada boiler karena korosi (Zajac et al. 2018).

#### *Karbon terikat*

Kadar karbon terikat berkisar 14,74-15,49% (Tabel 2). Kadar karbon tertinggi terdapat dalam penambahan 5% tapioka dan terendah pada penambahan 10% tapioka. Hasil sidik ragam menunjukkan bahwa penambahan tapioka berpengaruh nyata terhadap karbon terikat. Uji lanjut Duncan diketahui bahwa hanya penambahan tapioka 10% yang berbeda dengan perlakuan lainnya, sementara tapioka 2,5%, 5% dan 7,5% dan kontrol

tidak berbeda nyata. Terdapat fluktuasi kadar karbon terikat dimana terjadi peningkatan kadar karbon terikat pada penambahan tapioka sampai 5%, tetapi semakin tinggi penambahan tapioka 7,5% dan 10% terjadi penurunan karbon terikat. Hal ini disebabkan semakin tinggi penambahan tapioka akan menaikkan kadar bahan volatil pelet sehingga menurunkan karbon terikat. Menurut Speight (2005), karbon terikat merupakan elemen karbon di dalam biomasa tanpa adanya air, abu, dan zat terbang, serta menjadi parameter diketahuinya jumlah bahan padat yang dapat terbakar setelah dihilangkannya zat terbang. Hasil analisis karbon terikat pelet JPP memenuhi standar mutu SNI 8021-2014 yang mensyaratkan nilai karbon terikat minimal 14%.

Secara umum, bahan baku dengan karbon terikat yang tinggi memiliki nilai kalor yang lebih tinggi (Forero-Nuñez et al. 2015). Akan tetapi, dalam penelitian ini pelet dengan karbon terikat terendah yaitu penambahan tapioka 10%, mempunyai nilai kalor lebih tinggi dibandingkan perlakuan lainnya. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh kadar air pada pelet dengan penambahan 10% tapioka lebih rendah dan morfologi/bentuk visual pelet yang lebih kering jika dibandingkan dengan perlakuan lain, sehingga lebih mudah terbakar. Hal ini sesuai dengan Szymajda dan Laska (2019) bahwa nilai kalori bahan bakar padat meningkat seiring dengan penurunan kadar air. Selain itu, makin kering bahan bakar padat, semakin sedikit energi yang dibutuhkan untuk menguapkan air pada proses pembakaran, dan semakin efisien proses energinya.

#### Kerapatan

Berdasarkan hasil analisis, kerapatan pelet kayu JPP menggunakan mesin pelet tipe R *type* berkisar 1,14-1,31 g/cm<sup>3</sup>. Kerapatan pelet tertinggi dihasilkan dari perlakuan tapioka 7,5% dan terendah pada perlakuan 0% tapioka. Terdapat kenaikan kerapatan

0,17 g/cm<sup>3</sup> pada tapioka 7,5% dibandingkan kontrol. Berdasarkan hasil analisis sidik ragam ada peningkatan kerapatan yang nyata setelah penambahan tepung tapioka, akan tetapi hasil uji lanjut Duncan tidak terdapat perbedaan nyata antara perlakuan (Tabel 2).

Basri & Wahyudi (2013) melaporkan bahwa kerapatan kayu JPP umur 7-9 berkisar antara 0,58-0,61 dan setelah dijadikan pelet menjadi >1 g/cm<sup>3</sup>. Berdasarkan standar SNI 8021:2014, kerapatan pelet JPP sudah memenuhi standar yaitu minimal 0,8 g/cm<sup>3</sup>. Hasil ini menunjukkan bahwa bahan baku dengan kerapatan awal rendah, dapat menjadi berkerapatan tinggi dengan proses peletisasi. Menurut Miranda et al. (2015), bahan bakar dengan kerapatan tinggi akan mempunyai lebih banyak energi setiap satuan volumenya, dan dengan merubah bahan menjadi pelet akan meningkatkan kerapatan energi, makin tinggi kerapatan, semakin tinggi rasio energi/volume dan dapat mengurangi transportasi, penanganan dan tempat penyimpanannya.

Tingginya nilai kerapatan pelet dibandingkan kerapatan bahan kayu jati disebabkan efektifnya pemadatan dari alat pelet yang mempunyai kekuatan motor penggerak sebesar 20 KW. Menurut Holm et al. (2011), densifikasi biomassa menjadi pellet dapat terjadi karena kombinasi tekanan *roller* dan tekanan balik yang dihasilkan oleh gesekan antara bahan baku pelet dan dinding lubang pelet pada cetakan yang terjadi secara kontinyu selama putaran *roller*. Selain itu, gesekan antara *die* dan *roller* dapat mencapai suhu 90-110°C yang menghasilkan ikatan padat karena reaksi kimia, kristalisasi zat terlarut, pengerasan bahan perekat, dan *interlocking* (saling mengunci) mekanis dari serat dan partikel bahan yang dipadatkan (Tumuluru 2018). Menurut Hendra (2012), bahan bakar pelet kayu akan sulit terbakar bila kerapatannya tinggi, tetapi keuntungannya akan meningkatkan keteguhan dan nilai kalor.



### Ketahanan Pelet

Ketahanan (*durability*) pelet didefinisikan sebagai ketahanan terhadap perubahan dari tampilan aslinya atau seberapa baik suatu produk dapat menahan gaya eksternal setelah periode penggunaan yang berkelanjutan (Zhijia Liu et al. 2013). Daya tahan pelet merupakan properti penting dalam industri dan perdagangan *wood pellet*. Pelet dengan daya tahan rendah dapat mengindikasikan kemungkinan mengalami kesulitan penyimpanan dan pengiriman serta masalah kesehatan dan lingkungan karena cenderung mudah hancur baik karena adsorpsi kelembaban atau karena jatuh atau gesekan (Fordiiie 2011). Hasil uji ketahanan pelet jati dengan penambahan tepung tapioka berkisar antara 90,20–99,20% (Tabel 2). Hasil analisis sidik ragam menunjukkan penambahan tepung tapioka berpengaruh nyata terhadap *durability* pelet kayu. Hasil uji Duncan menunjukkan tapioka 2,5%, 5% dan 7,5% berada dalam satu kelompok tetapi berbeda dengan kontrol dan tapioka 10%. Ketahanan tertinggi didapat dari perlakuan penambahan tapioka 5% dan terendah terdapat pada perlakuan penambahan 10% tapioka. Hasil ini menunjukkan bahwa penambahan tepung tapioka 2,5-7,5% dapat meningkatkan ketahanan pelet kayu dan masuk dalam Standar Eropa, akan tetapi pada penambahan 10% tapioka terjadi penurunan ketahanan pelet. Hasil ini sesuai dengan penelitian Stahl et al. (2012) bahwa penambahan 1–3% pati gandum, pati jagung teroksidasi, pati kentang, dan pati kentang teroksidasi dapat meningkatkan *durability* pelet kayu pohon cemara Norway (*Picea abies*).

### Nilai kalor

Nilai kalor merupakan sejumlah energi kimia yang tersimpan dalam bahan yang dilepaskan sebagai energi panas selama pembakaran. Nilai kalor hasil analisis berkisar antara 4192-4319,67 Kal/g (Tabel 2).

Hasil sidik ragam menunjukkan bahwa terdapat perbedaan nyata penambahan tapioka; hasil uji lanjut Duncan menunjukkan hanya perlakuan 5% tapioka yang berbeda nyata dengan tapioka 10%; sedangkan, perlakuan kontrol, penambahan tapioka 2,5%, dan 7,5% berada dalam satu grup 5% tapioka. Nilai kalor terendah didapat dari perlakuan penambahan 5% tapioka dan kalor tertinggi pada perlakuan 10% tapioka. Rendahnya nilai kalor pada penambahan 5% tapioka dapat terkait dengan hasil analisis kadar air peletnya yang sedikit lebih tinggi dibandingkan perlakuan lainnya. Seperti diketahui bahwa air, abu, zat terbang, dan karbon terikat dapat mempengaruhi kalor bahan bakar. Semakin tinggi kadar air, kadar abu dan zat terbang nilai kalor bahan bakar semakin kecil (Fang et al. 2013). Fluktuasi kadar air pada produksi pelet kayu dapat terjadi pada saat pelet yang keluar dari *ring die* atau cetakan menyerap kembali uap panas akibat gesekan bahan baku dengan roda dan *ring die* mesin pelet. Selain itu menurut Tarasov et al. (2013) nilai kalor berhubungan dengan konsentrasi karbon, hidrogen, oksigen, belerang, dan nitrogen yang terdapat dalam pelet, nilai kalor berhubungan positif dengan konsentrasi karbon, hidrogen, dan sulfur tetapi berhubungan negatif dengan konsentrasi nitrogen dan oksigen. Tabel 3 menunjukkan bahwa penambahan tapioka 10% mempunyai kandungan C sebesar 45,93 dan H sebesar 6,43 lebih tinggi dibandingkan perlakuan lainnya, meskipun diketahui kadar oksigennya sedikit lebih tinggi dari perlakuan lainnya, tetapi mempunyai kadar air yang lebih rendah (Tabel 2), sehingga menghasilkan nilai kalor sedikit lebih tinggi dari perlakuan lainnya.

Bila membandingkan mutu pelet dengan standar SNI 8021-2014, nilai kalor pelet JPP hasil kegiatan ini sudah memenuhi standar karena di atas nilai 4000 kal/g. Nilai kalor pelet JPP juga memenuhi standar Eropa (Tabel 2). Hasil analisis ragam menunjukkan

bahwa hanya perlakuan 10% yang berbeda nyata dengan kontrol, sedangkan kontrol dengan 2,5%, 5% dan 7,5% dalam kelompok yang sama.

C, H, O, N, S, Klorin dan Logam Berat

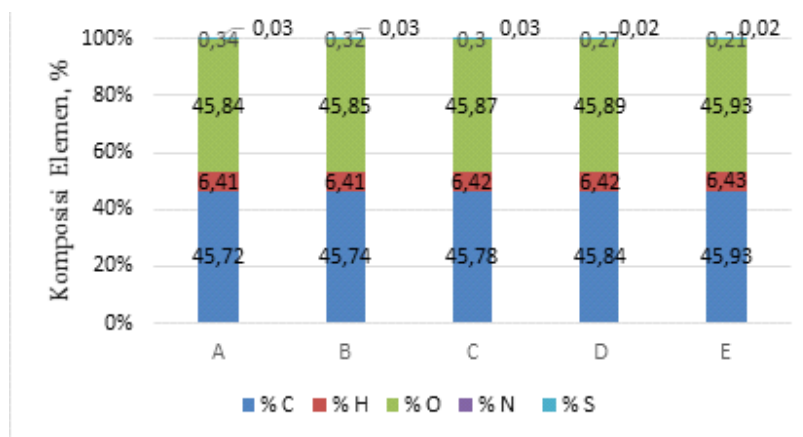
Analisis unsur CHONS atau dikenal dengan *ultimete analysis* merupakan analisis untuk mengetahui jumlah Karbon (C), Hidrogen (H), Oksigen (O), Nitrogen (N) dan Sulfur (S) yang ada dalam sampel. Hasil analisis menunjukkan bahwa kadar karbon pada semua perlakuan berkisar 45,72-45,93%, terdapat kecenderungan penambahan konsentrasi tepung tapioka berkontribusi meningkatkan kadar karbon (Gambar 1). Hal ini disebabkan tepung tapioka mengandung karbon sebesar 38,45% (Hadiroseyani et al. 2015). Peningkatan

kadar karbon juga mengindikasikan naiknya nilai kalor (Pirraglia et al. 2012), hal ini dibuktikan dengan hasil nilai kalor (Tabel 1). Kadar oksigen berkisar 45,86-45,93%, terdapat kecenderungan penambahan konsentrasi tapioka meningkatkan kadar oksigen pelet. Kandungan nitrogen dan hidrogen tidak menunjukkan perbedaan yang substansial seperti pada kandungan oksigen. Sementara kandungan sulphur terdeteksi berkisar antara 0,02-0,03% (Gambar 1).

Dari hasil analisis (Tabel 2) diketahui kandungan nitrogen pelet kayu jati tanpa penambahan perekat tapioka sebesar 0,34%, sedangkan pada penambahan tapioka 10% kandungan nitrogennya menurun menjadi 0,21%. Menurut Caillat dan Vakkilainen (2013), nitrogen dalam bahan bakar akan

**Tabel 3.** Kadar CHONS dan logam berat pelet kayu jati  
**Table 3.** CHONS and heavy metal contents of teak pellets

Parameter	A	B	C	D	E	EN 14961 <sup>a</sup>		
						A1	A2	B
C	45,72	45,74	45,78	45,84	45,93	-	-	-
H	6,41	6,41	6,42	6,424	6,43	-	-	-
O	45,84	45,85	45,87	45,89	45,93	-	-	-
Nitrogen %	0,34	0,32	0,30	0,27	0,21	≤ 0,3	≤ 0,5	≤ 1,0
Sulphur %	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	≤ 0,03	≤ 0,03	≤ 0,04
Klorin %	0,054	0,048	0,042	0,037	0,03	≤ 0,02	≤ 0,02	≤ 0,03
Arsenic (As) mg/kg	0,005	0,005	0,005	0,0049	0,005	≤ 1	≤ 1	≤ 1
Cadmium (Cd) mg/kg	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5
Chromium (Cr) mg/kg	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Copper (Cu) mg/kg	6,04	6,043	6,04	6,038	6,037	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Timbal (Pb) mg/kg	1,24	1,23	1,24	1,24	1,24	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Mercury (Hg) mg/kg	0,005	0,005	0,005	0,005	0,0049	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,1
Nickel mg/kg	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Zink mg/kg	17,8	17,9	18,1	18,3	18,5	≤ 100	≤ 100	≤ 100



**Gambar 1.** Hasil Analisis ultimate pelet JPP  
**Figure 1.** The ultimate analysis result from JPP pellet

menghasilkan oksida nitrogen ( $\text{No}_x$ ) dalam pembakaran; semakin tinggi kandungan nitrogen, akan semakin tinggi  $\text{No}_x$  yang dihasilkan. Standar Eropa (EN 14961) nilai N maksimal 1% untuk kelas mutu C, kelas mutu B mensyaratkan nilai  $N \leq 0,5$ , dan kelas A  $\leq 0,3$ . Pelet kayu JPP masuk kelas mutu B standar EN 14961. Hasil analisis kandungan sulphur pelet kayu JPP tanpa penambahan tapioka sebesar 0,03%, dan pada penambahan tapioka menjadi 0,02%. Hasil ini menunjukkan bahwa pelet kayu JPP memenuhi standar EN 14961 karena kandungan sulphur  $\leq 0,03$ . Sulphur merupakan sumber polusi  $\text{SO}_x$  dari bahan bakar padat, sehingga nilainya harus serendah mungkin (Caillat & Vakkilainen 2013). Hasil analisis kandungan klorin diperoleh nilai klorin 0,054% pada pelet JPP tanpa penambahan tapioka (kontrol) dan 0,03% pada pelet kayu dengan penambahan tapioka 10%. Kadar klorin dalam pelet kayu JPP kontrol tidak memenuhi standar EN 14961, karena lebih besar dari 0,03%. Kandungan nitrogen, sulphur dan klorin dalam bahan bakar dapat menghasilkan nitrogen oksida, sulphur oksida dan klorin bila terjadi pembakaran tidak sempurna sehingga disyaratkan sekecil mungkin.

Pada standar Eropa EN 14961, terdapat persyaratan kandungan logam berat dalam produk pelet kayu; hal ini bertujuan agar emisi yang dihasilkan dari pembakaran pelet kayu tetap ramah lingkungan. Hasil analisis menunjukkan bahwa pelet

kayu JPP tanpa penambahan tapioka memenuhi standar EN 14961 (Tabel 3).

#### Karakteristik Pembakaran

Karakteristik pembakaran pelet kayu jati dapat dilihat pada Tabel 4. Hasil uji waktu pendidihan air (*water boiling test*) berkisar antara 5,73-6,36 menit. Waktu pendidihan tercepat terdapat pada pelet dengan penambahan 10% tapioka yaitu 5,73 menit dan waktu terlama terdapat perlakuan tanpa penambahan tapioka yaitu 6,4 menit. Jumlah atau masa pelet jati terpakai dalam pendidihan air antara 69-81 g, jumlah terendah terdapat pada penambahan tapioka 5% dan tertinggi pada tapioka 10%. Selanjutnya, laju konsumsi pembakaran pelet berkisar 0,66-0,85 kg/jam, dengan konsumsi paling rendah terdapat pada perlakuan penambahan perekat 2,5% tapioka sebesar 0,66kg/jam dan yang tertinggi diperoleh pada perlakuan 10% tapioka sebesar 0,85 kg/jam. Pelet kayu jati dengan penambahan tapioka 10% menghasilkan pelet dengan laju konsumsi dan jumlah masa pelet yang terpakai yang tertinggi dibandingkan perlakuan lainnya. Hal ini dapat terjadi berkaitan dengan sifat tepung tapioka.

Menurut Hindom et al. (2016), fungsi pati seperti tepung tapioka adalah menghasilkan kemampuan perekat atau sifat amilopektin yang memberi tekstur pada bahan yang ditambahkan. Bila pati mengalami

**Tabel 4.** Karakteristik pembakaran pelet jati  
**Table 4.** Combustion characteristic of teak pelet

Karakteristik Pembakaran	A	B	C	D	E	Komersial*
Waktu mendidih (Menit)	6,4 (0,14)**	6,36 (0,05)	6,23 (0,03)	6,27 (0,22)	5,73 (0,39)	6,02 (0,23)
Masa pelet terpakai (g)	78,5 (2,12)	74 (2,83)	69 (1,41)	78,5 (3,54)	81 (1,41)	74,5 (4,95)
Laju konsumsi (kg/jam)	0,74 (0,03)	0,70 (0,02)	0,66 (0,01)	0,75 (0,01)	0,85 (0,07)	0,74 (0,08)
Energi yang dibutuhkan (Kkal/jam)	1054,9 (23,31)	1062,2 (22,42)	1083,5 (19,06)	1078,1 (24,9)	1180,8 (25,03)	1107,9 (27,65)
Efisiensi termal (%)	35,53 (1,47)	35,73 (1,57)	38,56 (0,56)	33,65 (0,91)	32,25 (1,67)	35,41 (2,5)

Keterangan (*Remarks*)

A = Kontrol (*Control*)

B = Penambahan 2,5% tapioka (b/b) (*2,5% w/w tapioca adding*)

C = Penambahan 5% tapioka (b/b) (*5% w/w tapioca adding*)

D = Penambahan 7,5% tapioka (b/b) (*7,5 5% w/w tapioca adding*)

E = Penambahan 10% tapioka (b/b) (*10% w/w tapioca adding*)

\* = Pelet komersial (*Comercial pellet*)

\*\* = Standar deviasi (*Standard deviation*)

pemanasan kemudian didinginkan, pati dapat mengalami proses retrogradasi yaitu terjadinya ikatan antara molekul amilosa satu sama lain dan berikatan antra amilosa dengan molekul amilopektin di luar granula. Kondisi ini membuat bahan menjadi rapuh atau renyah; sehingga dapat dipahami bahwa penambahan tepung tapioka dengan konsentrasi yang semakin besar ditambah dengan adanya panas akibat gesekan alat pelet yang mencapai  $\pm 110^{\circ}\text{C}$ , membuat pelet menjadi kering dan rapuh sehingga lebih mudah terbakar, waktu pendidihan air lebih cepat tetapi laju konsumsi dan masa pelet yang digunakan menjadi lebih tinggi. Hal ini juga dibuktikan pada pelet yang ditambahkan tapioka 10% mempunyai ketahanan (*durability*) yang lebih rendah dibandingkan dengan semua perlakuan (Tabel 2).

Menurut Lubisi et al. (2016), perbedaan lama waktu pendidihan dapat dipengaruhi oleh kecepatan nyala bahan bakar dan suhu temperatur api yang dihasilkan pelet. Semakin cepat terbakar dan semakin tinggi suhu api maka semakin cepat waktu pendidihan air. Uji *water boiling test* juga mengukur efisiensi termal atau pembakaran yang merupakan rasio energi yang digunakan dalam mendidihkan air dengan energi panas yang tersedia dalam bahan bakar. Hasil analisis menunjukkan bahwa efisiensi termal berkisar antara 32,25-38,56%. Efisiensi termal tertinggi diperoleh pada perlakuan penambahan 5% tapioka dan paling rendah adalah pada penambahan pelet campuran kulit kacang tanah (60%) dan bagase (40%) yang menghasilkan efisiensi termal sebesar 45,55% (Lubisi et al. 2016).

### Kesimpulan

Limbah cabang kayu JPP berpotensi dikembangkan sebagai bahan baku pelet kayu, yang dapat meningkatkan nilai tambah limbah cabang

kayu JPP. Penambahan tepung tapioka 2,5% - 7,5% secara signifikan dapat meningkatkan *durability* atau ketahanan pelet kayu JPP dibandingkan dengan tanpa penambahan tapioka, tetapi tidak berpengaruh nyata terhadap kadar air, zat terbang, karbon terikat, densitas dan nilai kalor. Perlakuan yang menghasilkan pelet dengan *durability* tinggi dan memenuhi syarat mutu Eropa EN 14961 kelas A, adalah penambahan 5% b/b tepung tapioka pada bahan baku JPP, dan juga memenuhi standar pelet kayu SNI 8021-2014 karena mempunyai kadar abu  $\leq 1,5\%$ .

### Daftar Pustaka

- Ahn BJ, Chang H, Soo Min Lee DHC, Cho ST, Han G, Yang I. 2014. Effect of binders on the durability of wood pellets fabricated from Larix kaemferi C. and Liriodendron tulipifera L. sawdust. *Renewable Energy* 62:1823. doi:10.1016/j.renene.2013.06.038.
- Ajimotokan HA, Ehindero AO, Ajao KS, Adeleke AA, Ikubanni PP. 2019. Combustion characteristics of fuel briquettes made from charcoal particles and sawdust agglomerates. *Scientific African* 6:19. doi:10.1016/j.sciaf.2019.e00202.
- Anizar H, Sribudiani E, Somadona S. 2020. Pengaruh bahan perekat tapioka dan sagu terhadap kualitas briket arang kulit buah nipah. *Perennial* 16(1):117.
- Arifin Z, Dtudi P, Mesin T, Teknik F, Merdeka U. 2018. Pengaruh perekat pembuatan briket limbah kayu sengan terhadap kerapatan, kadar air dan nilai kalor. Hlm. 555560. Di dalam: Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan VI Pendekatan multidisiplin menuju Teknologi dan industri yang Berkelanjutan. Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya. 29 September 2018, Surabaya.
- Basri E, Wahyudi I. 2013. Wood basic properties of jati plus perhutani from different Ages and Their Relationships to Drying Properties and Qualities. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan* 31(2):93102.
- Belonio AT. 2005. Rice Husk Gas Stove Handbook. Central Philippine University, Iloilo, Philippine.
- Caillat S, Vakkilainen E. 2013. Large-scale biomass combustion plants: An overview. Hlm 189-221 dalam Lase Rosendahl, editor. Biomass Combustion Science, Technology and Engineering Woodhead Publishing. Philadelphia.
- Cainenga Z, Qun Z, Guosheng Z, Bob X. 2016. Energy revolution: From a fossil energy era to a new energy era. *Natural Gas Industry B*. 3(1):111. doi:10.1016/j.ngib.2016.02.001.
- Chisté RC, Cardoso JM, Silva DA da, Pena R da S. 2015. Hygroscopic behaviour of cassava flour from dry and water groups. *Ciencia Rural* 45(8):15151521. doi:10.1590/0103-8478cr20140338.
- Falemara BC, Joshua VI, Aina OO, Nuhu RD. 2018. Performance evaluation of the physical and

- combustion properties of briquettes produced from agro-wastes and wood residues. *Recycling* 3(3). doi:10.3390/recycling3030037.
- Fang S, Zhai X, Wan J, Tang L. 2013. Clonal variation in growth, chemistry and calorific value of new poplar hybrids at nursery stage. *Biomass and Bioenergy* 54:303311. doi:10.1016/j.biombioe.2012.10.005.
- Fordiie EO. 2011. Durability of wood pellets. Thesis (Unpublished). Chemical and Biological Engineering, The University Of British Columbia, Colombia.
- Forero-Nuñez CA.b, Jochum J.d, Vargas FES.fg. 2015. Effect of particle size and addition of cocoa pod husk on the properties of sawdust and coal pellets. *Ingenieria e Investigacion* 35(1):1723. doi:10.15446/ing.investig. v35n1.46157.
- Gageanu I, Cujbescu D, Persu C, Voicu G. 2018. Impact of using additives on quality of agricultural biomass pellets. hlm. 16321638. Di dalam: Proceedings 17th International Scientific Conference Engineering for Rural Development. 23-25 May 2018, Jelgava, Latvia.
- Gilvari H, Cutz L, Tiringner U, Mol A, de Jong W, Schott DL. 2020. The effect of environmental conditions on the degradation behavior of biomass pellets. *Polymers* 12(4):115. doi:10.3390/POLYM12040970.
- Grace NCF, Henry CJ. 2020. The physicochemical characterization of unconventional starches and flours used in Asia. *Foods* 9(2):112. doi:10.3390/foods9020182.
- Guitarra P, Kartika H. 2018 Mar. ESDM: Jika tak ada temuan baru, cadangan minyak bumi akan turun tahun depan. *Kontan.co.id*. <https://industri.kontan.co.id/news/esdm-jika-tak-ada-temuan-baru-cadangan-minyak-bumi-akan-turun-tahun-depan>. Diakses September 2020.
- Hadiroseyani Y, Puspitasari A, Budiardi T. 2015. Peningkatan rasio C / N dengan penambahan tepung tapioka pada substrat budidaya *Oligochaeta* Increasing of C / N ratio with addition of tapioca starch in *Oligochaetes* culture substrate. *Jurnal Akuakultur Indonesia* 14(2):144150.
- Hansen MT, Jain AR, Hayes S, Bateman P. 2009. *English Handbook for Wood Pellet Combustion*. Force Technology. Denmark
- Hendra D. 2012. Rekayasa pembuatan mesin pelet kayu dan pengujian hasilnya. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan* 30(2):144154.
- Hindom PP, Mande LC, Nurali E. 2016. Pengaruh penambahan tepung tapioka pada pembuatan biskuit bebas gluten, bebas kasein berbahan baku tepung ubi jalar ungu (*Ipomoea batatas* L.). *Cocos* 7(6):112.
- Holm JK, Stelte W, Posselt D, Ahrenfeldt J, Henriksen UB. 2011. Optimization of a multiparameter model for biomass pelletization to investigate temperature dependence and to facilitate fast testing of pelletization behavior. *Energy and Fuels* 25(8):37063711. doi:10.1021/ef2005628.
- Keipi T, Tolvanen H, Kokko L, Raiko R. 2014. The effect of torrefaction on the chlorine content and heating value of eight woody biomass samples. *Biomass and Bioenergy* 66:232239. doi:10.1016/j.biombioe.2014.02.015.
- Kuokkanen M, Vilppo T, Kuokkanen T, Stoor T, Niinimäki J. 2011. Additives in wood pellet production a pilot-scale study of binding agent usage. *BioResources* 6(4):43314355.
- Kymäläinen M, Mäkelä MR, Hildén K, Kukkonen J. 2015. Fungal colonisation and moisture uptake of torrefied wood, charcoal, and thermally treated pellets during storage. *European Journal of Wood and Wood Product* 73(6):709717. doi:10.1007/s00107-015-0950-9.
- Liu Z, Jiang Z, Cai Z, Fei B, Yan Yu, Liu X. 2013. Effects of carbonization conditions on properties of bamboo pellets. *Renewable Energy* 51:27. doi:10.1016/j.renene.2012.07.034.
- Liu Z, Quek A, Balasubramanian R. 2014. Preparation and characterization of fuel pellets from woody biomass, agro-residues and their corresponding hydrochars. *Applied Energy* 113:13151322. doi:10.1016/j.apenergy.2013.08.087.
- Lubis AS, Romli M, Yani M, Pari G. 2016. Mutu biopellet dari bagas, kulit kacang tanah dan pod kakao. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian* 26(1):7786.
- Lukmandaru G, Mohammad AR, Wargono P, Prasetyo VE. 2016. Studi mutu kayu jati di hutan rakyat gunungkidul. V. Sifat kimia kayu. *Jurnal Ilmu Kehutanan* 10(2):108118.
- Matangaran JR, Anggoro R. 2012. Limbah pemanenan jati di Bayuwangi Jawa Timur. *Perennial* 8(2):88. doi:10.24259/perennial.v8i2.221.
- Miranda T, Montero I, Sepúlveda FJ, Arranz JI, Rojas CV, Nogales S. 2015. A review of pellets from different sources. *Materials* 8:14131427. doi:10.3390/ma8041413.
- Munfiah S, Setiani O. 2013. Kualitas fisik dan kimia air sumur gali dan sumur bor di wilayah kerja Puskesmas Guntur II Kabupaten Demak. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia* 12(2):154159. doi:10.14710/jkli.12.2.154.
- Obidzinski S, Piekut J, Dec D. 2016. The influence of potato pulp content on the properties of pellets from buckwheat hulls The influence of potato pulp content on the properties of pellets from buckwheat hulls. *Renewable Energy* 87(March):289297. doi:10.1016/j.renene.2015.10.025.
- Patel JP, Parsania PH. 2018. Characterization, testing, and reinforcing materials of biodegradable composites. Hlm 55-79 Dalam Shimpi N: *Biodegradable and Biocompatible Polymer Composites*. Woodhead Publishing.
- Pietrzyk S, Fortuna T, Krolikowska K, Rogozińska E, Łabanowska M, Kurdziel M. 2013. Effect of mineral elements on physicochemical properties of oxidised starches and generation of free radicals. *Carbohydrate Polymers* 97(2):343351. doi:10.1016/j.carbpol.2013.04.077.
- Pirraglia A, Gonzalez R, Saloni D, Wright J, Denig J. 2012. Fuel properties and suitability of *Eucalyptus benthamii* and *Eucalyptus macarthurii* for torrefied wood and pellets. *Bio Resources* 7(1998):217235.
- Purohit P, Chaturvedi V. 2018. Biomass pellets for power generation in India: a techno-economic evaluation. *Environmental Science and Pollutan Research* 25:2961429632.
- Roffael E. 2016. Significance of wood extractives for wood bonding. *Applied Microbiology and Biotechnology* 100:15891596. doi:10.1007/s00253-015-7207-8.
- Rowell RM, Pettersen R, Han JS, Rowell JS, Tshabalala MA. 2005. 3 Cell Wall Chemistry. Hlm. 3372. Di dalam: Rowell RM, editor. *Handbook of wood chemistry and wood composites*, Second Edition. Boca Raton Florida:

- CRC Press.
- Sari NK. 2009. Pembuatan bioetanol dari rumput gajah dengan destilasi batch. *Jurnal Teknik Kimia Indonesia* 8(3):94103.
- Speight JG. 2005. *Handbook of coal analysis*. Winefordner J, editor. New Jersey: A Jhon Wiley & Sons. Inc.
- Stahl M, Berghel J, Frodeson S, Granström K, Renström R. 2012. Effects on pellet properties and energy use when starch is added in the wood-fuel pelletizing process. *Energy Fuels* 26:19371945. doi:10.1021/ef201968r.
- Suwadji S, Pebriana H. 2018. Sifat wood pellet dari limbah kayu jati. *Jurnal Wana Tropika* 8(2):4758.
- Syahidah, Hikmah, Yunianti AD. 2007. Kandungan kimia dan dimensi serat akar, cabang dan batang bagian atas kayu gmelina dan kayu jati di hutan rakyat Sulawesi Selatan. *Jurnal Perennial* 3(1):11-14.
- Szymajda A, Laska G. 2019. The effect of moisture and ash on the calorific value of cow dung biomass. Hlm. 1618. Di dalam: *Proceedings, 2019, ISMO 2019 Innovations-Sustainability-Modernity-Openness Conference (ISMO19)*. 2223 May 2019. Polandia.
- Tarasov D, Shahi C, Leitch M. 2013. Effect of additives on wood pellet physical and thermal characteristics: A review. *ISRN Forestry* 2013:16. doi:10.1155/2013/876939.
- Tumuluru JS. 2018. Effect of pellet die diameter on density and durability of pellets made from high moisture woody and herbaceous biomass. *Carbon Resources Conversion* 1(2018):4454. doi:10.1016/j.crcon.2018.06.002.
- Wibowo S, Lestari N. 2018. Effect of peanut shell torrefaction on qualities of the produced. *Reaktor* 18(4):183193.
- Yuswansyah E, Haryanto A, Lanya B. 2013. Potensi penerimaan masyarakat terhadap kompor biomassa UB-03. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung* 2(2):7784.
- Zajac G, Szyszlak-Bargłowicz J, Gołbiowski W, Szczepanik M. 2018. Chemical characteristics of biomass ashes. *Energies* 11:115. doi:10.3390/en1112885.