

Karakterisasi Pelet Kayu Karet (*Hevea brasiliensis*) Hasil Torefaksi dengan Menggunakan Reaktor *Counter-Flow Multi Baffle* (COMB)

Characterization of Rubberwood (Hevea brasiliensis) Pellets Torrefied with Counter-Flow Multi Baffle (COMB) Reactor

Oleh:

Tri Rubiyanti^{1*}, Wahyu Hidayat¹, Indra Gumay Febryano¹, Samsul Bakri¹

¹Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Jl. Sumantri Brojonegoro 1, Bandar Lampung, 35145, Lampung, Indonesia

*email: trirubiyanti39@gmail.com

ABSTRAK

Indonesia memiliki luas areal tanaman karet (*Hevea brasiliensis*) di dunia. Produk utama dari pohon karet berupa getahnya dan ketika pohon sudah tidak produktif menghasilkan getah, limbah penebangan dan limbah industri berbasis kayu karet dapat dimanfaatkan menjadi pelet biomassa. Kualitas pelet biomassa dapat ditingkatkan melalui torefaksi, yaitu suatu proses perlakuan panas pada kisaran suhu 200°C – 300°C dalam kondisi oksigen terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh torefaksi terhadap karakteristik pelet kayu karet. Torefaksi pelet kayu karet dilakukan dengan menggunakan reaktor *Counter-Flow Multi Baffle* (COMB), suatu alat yang dapat melakukan torefaksi dengan waktu tinggal (*residence time*) yang singkat (hingga 5 menit). Suhu torefaksi yang diterapkan adalah 200°C, 250°C, dan 300°C dengan waktu tinggal 3 menit. Pengujian pelet meliputi perubahan warna, sifat fisik, komposisi kimia, dan nilai kalor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa warna pelet berubah total setelah torefaksi, dari warna awal cokelat muda menjadi pelet berwarna hitam (*black pellet*) dengan nilai perubahan warna (ΔE^*) sebesar 29,12 pada suhu 200°C, 54,27 pada suhu 250°C, dan 66,71 pada suhu 300°C. Kadar air pelet menurun dari 12,25% menjadi 3,54%. Uji perendaman air juga menunjukkan bahwa pelet yang ditorefaksi lebih tahan terhadap air, sehingga akan sangat menguntungkan ketika pelet disimpan pada kondisi lembab. Kerapatan kering tanur pelet menurun dari 1,15 g/cm³ menjadi 1,09 g/cm³, 1,04 g/cm³, dan 0,96 g/cm³, setelah torefaksi pada suhu 200°C, 250°C, dan 300°C. Torefaksi menyebabkan penurunan kandungan selulosa dan hemiselulosa, peningkatan kandungan lignin, dan peningkatan nilai kalor antara 1,71–18,32% seiring dengan peningkatan suhu torefaksi. Torefaksi dengan reaktor COMB dapat meningkatkan kualitas pelet kayu karet untuk meningkatkan nilai tambah produk.

Kata kunci: *black pellet*, *Counter-Flow Multi Baffle*, kayu karet (*Hevea brasiliensis*), torefaksi

ABSTRACT

Indonesia has the largest rubberwood (*Hevea brasiliensis*) plantation area in the world. Rubberwood is mainly planted for latex production and as latex production declines with age, rubberwood is generally felled. The logging waste and industrial waste of rubberwood-based products could be utilized as raw materials to produce biomass pellets. The quality of

biomass pellets can be increased through torrefaction, a thermal process in the temperature range of 200-300°C under an inert atmosphere. This study aimed to evaluate the effect of torrefaction on the characteristics of rubberwood pellets. The torrefaction of rubberwood pellets was conducted using the Counter-Flow Multi Baffle (COMB) reactor, a reactor that could perform torrefaction within a short residence time of up to 5 min. The temperature used in this study was 200°C, 250°C, dan 300°C with a residence time of 3 min. The color change, physical properties, chemical composition, and heating value were evaluated. The results showed that the pellet's color changed from light brown into black pellets, showing the overall color change (ΔE^) of 29,12, 54,27, and 66,71, after torrefaction at 200°C, 250°C, and 300°C, respectively. The equilibrium moisture content of the pellets decreased from 12,25% to 3,54%. The water immersion test also showed that the torrefied pellets have a better hydrophobicity, which is an advantage when pellets are stored in a humid condition. The oven-dry density of pellet decreased from 1,15 g/cm³ to 1,09 g/cm³, 1,04 g/cm³, and 0,96 g/cm³, after torrefaction at temperatures of 200°C, 250°C, and 300°C, respectively. Torrefaction caused a decrease of cellulose and hemicellulose contents, an increase of lignin content, and a remarkable increase in the heating value of 1,71-18,32% with increasing torrefaction temperature. The results proposed that torrefaction using the COMB reactor could provide a great improvement in the quality of rubberwood pellets to improve the additional value of the products.*

Keywords: *black pellet, Counter-Flow Multi Baffle, rubberwood (Hevea brasiliensis), torrefaction*

PENDAHULUAN

Biomassa merupakan bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintesis, baik berupa produk atau limbah (Suganal dan Hudaya 2019). Biomassa memiliki sifat yang dapat diperbaharui sehingga menjadi salah satu energi alternatif yang menarik dan dapat menyediakan sumber energi secara berkesinambungan. Jenis biomassa dari sektor kehutanan yang sangat potensial salah satunya adalah biomassa limbah kayu seperti limbah penebangan dan limbah penggergajian kayu yang perlu dimanfaatkan secara optimal sehingga nilai gunanya semakin meningkat (Adrian et al. 2015).

Salah satu jenis biomassa kayu yang memiliki potensi besar di Indonesia adalah kayu karet (*Hevea brasiliensis*) mengingat Indonesia memiliki areal tanaman karet terluas di dunia dengan luas mencapai 3.229.861 ha (Direktorat Jenderal Perkebunan 2017). Provinsi Lampung memiliki luasan areal tanaman karet sebesar 4,9% dari luasan areal tanaman karet di Indonesia atau seluas 158.999 ha (Badan Pusat Statistik 2018). Masyarakat banyak menanam pohon karet karena selain dapat menghasilkan getah, pohon karet juga dapat menghasilkan kayu serta produk sampingan seperti limbah hasil penebangan. Tanaman karet dengan umur 25-30 tahun biasanya sudah tidak produktif menghasilkan getah, oleh karena itu, kayu karet dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku perabotan rumah tangga, industri mebel, kayu bakar, dan bioenergi (Admojo dan Setyawan 2018).

Pengembangan bioenergi seperti pelet biomassa dari bahan baku biomassa kayu dapat diterapkan untuk menghasilkan energi terbarukan. Konversi biomassa menjadi pelet mempunyai keuntungan seperti peningkatan nilai kalori per unit volume, mudah disimpan dan diangkut, serta mempunyai ukuran dan kualitas yang seragam. Namun pelet biomassa memiliki kekurangan seperti daya serap air yang tinggi sehingga tidak dapat disimpan lama (Syamsiro 2016). Peningkatan kualitas pelet biomassa dapat dilakukan melalui torefaksi. Torefaksi merupakan proses secara *thermal* dalam keadaan oksigen terbatas (*inert*) pada

kisaran suhu sekitar 200°C-300°C (Maryenti et al. 2017). Teknologi torefaksi yang baru dikembangkan saat ini dilakukan menggunakan rangkaian reaktor *Counter-Flow Multi Baffle* (COMB) (Hidayat et al. 2018b; Warsono et al. 2019). Reaktor COMB dapat melakukan proses torefaksi dengan waktu yang relatif lebih singkat dibandingkan dengan metode lainnya yaitu sekitar 3-5 menit. Proses torefaksi dilakukan untuk meningkatkan kualitas produk pelet biomassa yang dihasilkan dengan melihat dari sifat fisik, kimia dan nilai kalor pelet kayu karet.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di *Workshop* Teknologi Hasil Hutan (THH) di Laboratorium Lapang Terpadu Fakultas Pertanian, Universitas Lampung selama bulan November 2018 – Februari 2019. Bahan yang digunakan yaitu pelet biomassa komersial yang terbuat dari kayu karet (*Hevea brasiliensis*) dengan ukuran diameter 6 mm serta panjang berkisar 17 – 24 mm. Pelet kayu karet disaring untuk memisahkan debu dan partikel-partikel halus. Torefaksi pelet kayu karet dilakukan dengan menggunakan reaktor *Counter-Flow Multi Baffle* (COMB). Reaktor COMB merupakan reaktor yang dapat digunakan untuk melakukan proses torefaksi dengan kapasitas proses 20 kg/jam, suhu maksimum 500°C, dan waktu tinggal 3-5 menit. Reaktor torefaksi COMB memiliki enam bagian, yaitu: bagian pengumpan biomassa (*feeder*); bagian kolom reaktor (*column*), dimana biomassa mengalami torefaksi; bagian pendinginan gas (*heat exchanger*); bagian pembakar (*burner*); bagian penyaring partikel halus (*fine dust collector*); dan *induction drag fan* (*ID fan*) untuk mengalirkan gas panas ke kolom reaktor (Gambar 1).



Gambar 1. Skema Reaktor *Counter-Flow Multi Baffle* (COMB).

Pelet kayu karet dimasukkan ke dalam *feeder* yang terletak di bagian atas kolom (COMB *column*). Kolom dilengkapi dengan *baffle* yang disusun pada kemiringan tertentu sehingga biomassa akan jatuh ke bawah dan kontak dengan aliran gas panas yang dihasilkan oleh *burner*. Gas panas dari *burner* dialirkan ke kolom reaktor dari bagian bawah kolom menuju ke atas yang didorong aliran gas dari *ID fan*. Torefaksi dilakukan dengan menggunakan suhu 200°C, 250°C, dan 300°C dengan waktu tinggal 3 menit.

Pengujian warna, sifat fisik, komposisi kimia, dan nilai kalor dilakukan terhadap pelet kayu karet sebelum dan setelah torefaksi. Evaluasi perubahan warna dilakukan dengan menggunakan sistem *CIE-Lab* dengan mengukur parameter warna kecerahan (L^*), kromatisasi merah/hijau (a^*), dan kromatisasi kuning/biru (b^*). Perubahan warna secara keseluruhan (ΔE^*) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Esteves dan Pereira 2009):

$$\Delta E^* = (\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{1/2}$$

Dimana ΔL^* , Δa^* , dan Δb^* , secara berurutan adalah perubahan kecerahan, perubahan kromatisasi merah/hijau, dan perubahan kromatisasi kuning/biru setelah torefaksi.

Perubahan warna dapat ditentukan dengan derajat perubahan warna dengan klasifikasi sebagai berikut (Valverde dan Moya 2014):

$0,0 < \Delta E^* \leq 0,5$	= perubahan dapat diabaikan
$0,5 < \Delta E^* \leq 1,5$	= perubahan warna sedikit
$1,5 < \Delta E^* \leq 3$	= perubahan warna nyata
$3 < \Delta E^* \leq 6$	= perubahan warna besar
$6 < \Delta E^* \leq 12$	= perubahan warna sangat besar
$\Delta E^* > 12$	= warna berubah total

Sifat fisik yang diamati meliputi kerapatan, kadar air, dan ketahanan terhadap perendaman air. Pengujian kerapatan pada kondisi kering udara dan kering tanur dilakukan berdasarkan standar SNI 03-6844-2002 (Badan Standardisasi Nasional 2002) dengan mengukur berat dan volume sampel dan dihitung dengan rumus berikut:

$$KR = \frac{M}{V}$$

dimana KR adalah kerapatan (g/cm^3), m adalah massa pelet (gram), dan v adalah volume pelet (cm^3).

Pengukuran kadar air pelet dilakukan berdasarkan standar BS EN ISO 18134-2:2017 (British Standards Institution 2017) dengan menimbang sampel sebelum dan setelah dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 100°C selama 24 jam dan dihitung menggunakan rumus berikut:

$$KA = \frac{BA - BKT}{BKT} \times 100\%$$

dimana KA adalah kadar air (%), BA adalah berat awal (g), dan BKT adalah berat kering tanur (g).

Pengujian ketahanan terhadap perendaman air dilakukan dengan merendam pelet kayu karet ke dalam air selama 24 jam. Perubahan visual dan disintegrasi pelet yang terjadi diamati pada rentang waktu 1 menit, 5 menit, 1 jam, dan 24 jam.

Analisis komposisi kimia bahan dan produk pelet torefaksi dilakukan mengikuti prosedur yang direkomendasikan oleh US *National Renewable Energy Laboratory* (Sluiter et al. 2015). Sampel bebas zat ekstraktif dengan berat kering 150 mg ditimbang, kemudian diletakkan dalam wadah gelas dan ditambahkan 1,5 ml H_2SO_4 72 wt%. Sampel selanjutnya dihidrolisis pada temperatur 30°C selama satu jam, kemudian ditambahkan 42 ml aquades dan dihidrolisis kembali pada suhu 12°C menggunakan *auto clave*. Sampel yang telah dihidrolisis didinginkan dan disaring menggunakan GP 16 *glass filter* pada kondisi *vacuum* sambil dibilas beberapa kali dengan menggunakan air panas untuk melarutkan sisa asam yang tersisa di dalam sampel sampai pH netral. Padatan yang tersisa adalah lignin klason yang kemudian dikeringkan di dalam oven pada suhu 105°C selama 12 jam. Konsentrasi gula terlarut seperti xylosa, arabinosa dan glukosa, yang berasal dari filtrat hasil penyaringan dianalisa dengan menggunakan *high-performance liquid chromatography* (HPLC) dengan menggunakan KC-

811 column (Iryani et al. 2017). Kadar selulosa dan hemiselulosa dicari dengan mengikuti persamaan berikut:

$$\text{Kadar Selulosa (wt \%)} = \text{kadar glukosa (wt \%)} \times 0,9$$

$$\text{Kadar Hemiselulosa (wt \%)} = (\text{kadar xylosa} + \text{arabinosa}) \text{ (wt \%)} \times 0,88$$

Kadar abu dicari dengan mengukur berat sampel sebelum dan sesudah proses pemanasan 1 g sampel pada temperatur 575°C selama 5 jam.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perubahan Warna Pelet Kayu Karet

Perubahan nilai parameter warna pelet kayu karet dapat dilihat pada Tabel 1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada sampel sebelum torefaksi (kontrol) pelet kayu karet memiliki kecerahan (L^*) tertinggi, dan nilai L^* menurun seiring dengan meningkatnya suhu torefaksi. Kromatisasi merah/hijau (a^*) pelet kayu karet sedikit meningkat setelah torefaksi pada suhu 200°C dan mengalami penurunan setelah torefaksi pada suhu 250°C dan 300°C. Kromatisasi kuning/biru (b^*) menunjukkan tren yang sama dengan nilai L^* , dimana nilai b^* semakin menurun seiring dengan meningkatnya suhu torefaksi.

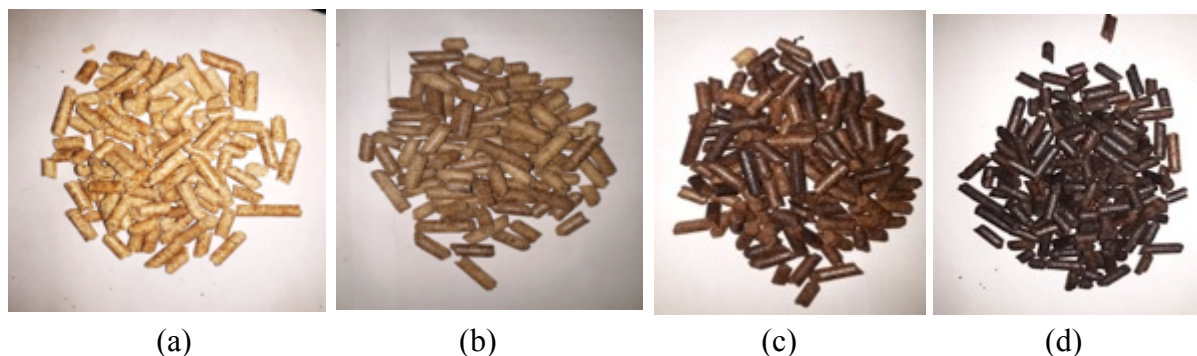
Tabel 1. Perubahan warna pelet kayu karet.

Parameter warna	Kontrol	Torefaksi		
		200°C	250°C	300°C
L^*	52,67	38,00	20,00	13,00
a^*	22,33	26,00	14,33	9,00
b^*	50,00	39,67	11,33	5,00
ΔE^*		29,12	54,27	66,71

Perubahan warna secara keseluruhan (ΔE^*) pelet kayu karet mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan suhu torefaksi. Tabel 1 menunjukkan bahwa ΔE^* setelah torefaksi pada suhu 200°C, 250°C, dan 300°C menunjukkan nilai > 12, dengan kata lain warna pelet kayu karet berubah total setelah torefaksi. Penelitian sebelumnya juga menunjukkan bahwa warna kayu berubah total ($\Delta E^* > 12$) setelah perlakuan panas pada suhu 200°C dan 220°C (Hidayat et al. 2015, 2016, 2017c, b; a, 2018a; Hidayat and Febrianto 2018). Tingkat kecerahan (L^*) merupakan perubahan secara visual yang paling jelas mengalami penurunan atau penggelapan warna pelet setelah torefaksi (Gambar 2). Salca et al. (2016) menjelaskan bahwa penurunan nilai L^* terjadi akibat adanya degradasi hemiselulosa selama perlakuan panas sehingga mempengaruhi perubahan warna secara visual.

Sifat Fisik

Hasil penelitian menunjukkan bahwa torefaksi menyebabkan penurunan kerapatan pelet kayu karet. Kerapatan kering udara dan kering tanur dari pelet kayu karet yang ditorefaksi semakin menurun seiring dengan meningkatnya suhu perlakuan dengan persentase penurunan berkisar antara 8,98 – 22,71% untuk kerapatan kering udara dan kerapatan kering tanur sebesar 4,66 – 16,18% (Tabel 2). Penurunan kerapatan terjadi karena penurunan massa dan penyusutan volume pelet. Hasil penelitian yang telah dilakukan sejalan dengan penelitian Hidayat et al. (2018a) yang menyatakan bahwa kerapatan kayu gmelina menurun dari 0,46 g/cm³ menjadi 0,41 g/cm³ setelah diberi perlakuan panas pada suhu 210°C.



Gambar 2. Warna pelet kayu karet: (a) sebelum torefaksi/kontrol, (b) torefaksi pada suhu 200°C, (c) torefaksi pada suhu 250°C, dan (d) torefaksi pada suhu 300°C.

Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa kadar air pelet kayu karet menurun setelah torefaksi. Sampel pelet kontrol memiliki kadar air sebesar 12,25% dan setelah torefaksi kadar air menurun hingga kadar air sampel torefaksi suhu tinggi sebesar 3,54% (Tabel 2). Torrefaksi dengan menggunakan suhu yang semakin tinggi menyebabkan kandungan air dalam pelet biomassa mengalami penguapan sehingga kandungan air bergerak keluar dalam bentuk gas dan kandungan kadar air semakin menurun (Widarti 2017). Kandungan kadar air biomassa yang rendah sangat penting untuk mendukung kegiatan pengangkutannya.

Tabel 2. Kadar air dan kerapatan pelet kayu karet.

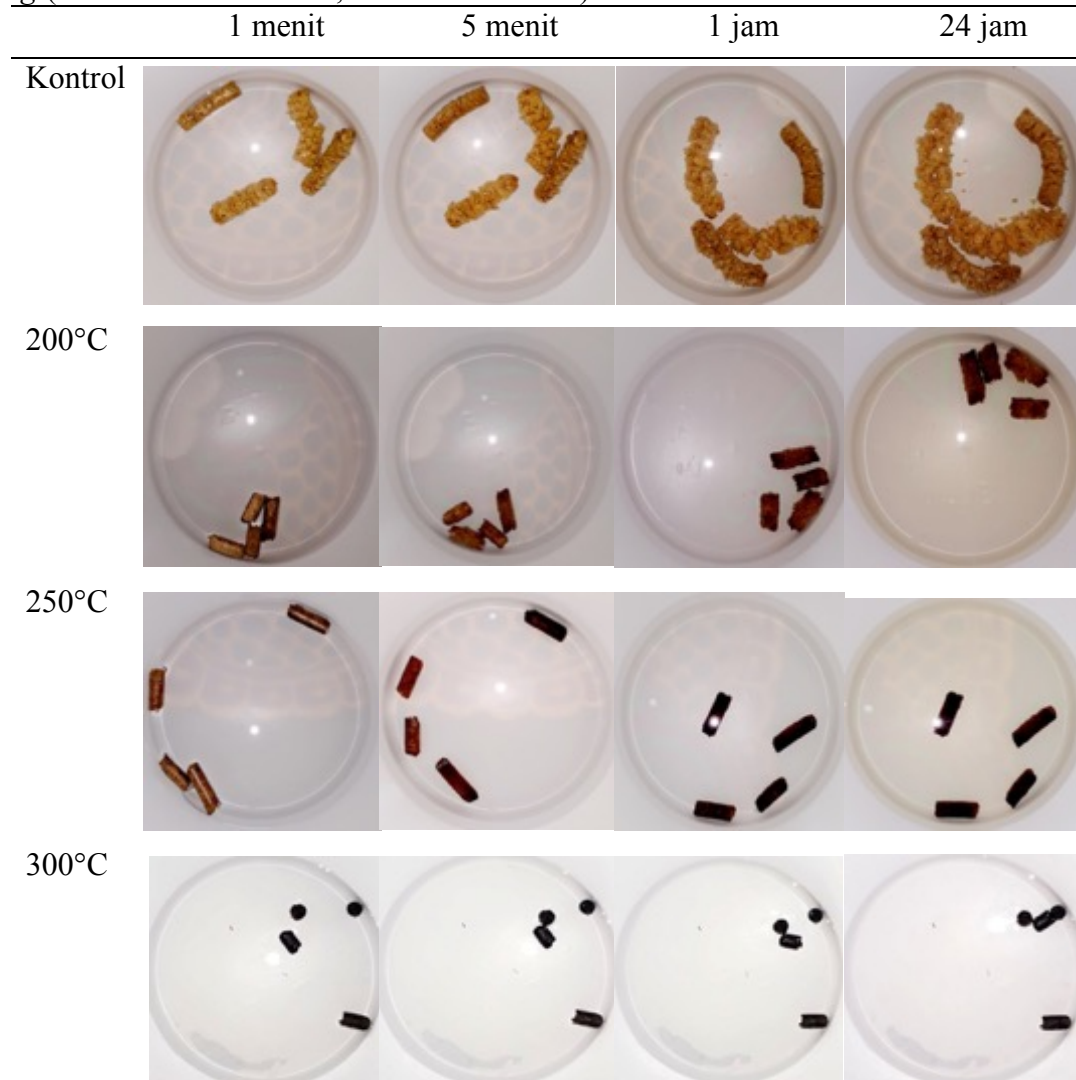
Perlakuan	Kerapatan (g/cm ³)		Perubahan kerapatan (%)		KA (%)
	KU	KT	KU	KT	
Kontrol	1,29 (0,05)	1,15 (0,05)	–	–	12,25 (2,30)
200°C	1,17 (0,02)	1,09 (0,02)	8,98	4,66	7,13 (1,53)
250°C	1,11 (0,06)	1,04 (0,04)	1,79	9,09	6,38 (3,04)
300°C	0,99 (0,09)	0,96 (0,10)	22,71	16,18	3,54 (1,22)

Keterangan: KU = kerung udara, KT = kering tanur, KA= kadar air. Angka di dalam kurung adalah standar deviasi.

Hasil pengujian ketahanan pelet terhadap air melalui perendaman dapat dilihat pada Gambar 3. Pada sampel kontrol, pelet sudah mulai mengalami pengembangan pada menit ke-1. Pengembangan pelet kontrol semakin besar seiring dengan bertambahnya waktu perendaman hingga akhirnya disintegrasi pelet terjadi setelah 1 jam perendaman dan semakin terlihat jelas setelah 24 jam.

Uji perendaman setelah 24 jam menunjukkan perubahan warna air pada sampel yang ditorefaksi pada suhu 200°C dan 250°C. Hal ini menunjukkan bahwa ekstraktif pada pelet belum seluruhnya teroksidasi setelah torefaksi pada suhu 200°C dan 250°C. Secara keseluruhan, sampel pelet setelah torefaksi memiliki ketahanan terhadap perendaman air yang baik karena sampai waktu ke-24 jam masih memiliki bentuk seperti semula atau tidak mengalami kerusakan yang terlihat secara kasat mata. Ketahanan terhadap air dari pelet yang ditorefaksi dapat terjadi karena penurunan jumlah gugus hidroksil akibat reaksi kimia yang terjadi selama proses torefaksi, sehingga menurunkan daya serap air (Jämsä dan Viitaniemi 2001). Penelitian yang dilakukan Aripin (2013) juga melaporkan bahwa daya serap air dari ampas tebu yang ditorefaksi lebih rendah dibandingkan dengan tanpa torefaksi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa torefaksi mengubah sifat higroskopis pelet kayu karet menjadi lebih hidrofobik (lebih tahan terhadap air) sehingga akan sangat berguna untuk penyimpanan pelet yang membutuhkan waktu dalam jangka panjang. Secara umum biomassa memiliki sifat higroskopis sehingga sangat mudah menyerap air dan memiliki kadar air yang relatif tinggi dan hal ini menimbulkan masalah terutama dalam penyimpanan untuk keperluan *stoking* (Abd Kadir et al. 2013; Nasrin et al. 2011).



Gambar 3. Hasil pengujian ketahanan pelet terhadap air melalui perendaman air

Komposisi Kimia Pelet Kayu Karet

Hasil analisis kandungan komposisi kimia pelet kayu karet disajikan pada Tabel 3. Kandungan abu pelet kontrol meningkat seiring dengan peningkatan suhu torefaksi. Hidayat et al. (2017b) melaporkan peningkatan kandungan abu kayu mindi (*Melia azedarach*) dari 0,57% menjadi 0,80% setelah pirolisis pada suhu 400°C. Peningkatan kadar abu pada produk hasil torefaksi dapat disebabkan karena terjadi pengurangan massa saat proses torefaksi berlangsung, namun tidak diiringi dengan degradasi komponen anorganik pembentuk abu (Maryenti et al. 2017). Menurut Azhar dan Rustamaji (2009), kandungan abu pada biomassa sebelum ditorefaksi sebesar 2,5% dan setelah torefaksi meningkat menjadi 5% dan arang bambu menjadi berwarna keabu-abuan. Hal tersebut terjadi karena suhu yang tinggi menyebabkan kandungan karbon dan hidrogen semakin meningkat dan kandungan oksigen menurun sehingga terjadi penurunan rasio O/C.

Tabel 3. Komposisi kimia pelet kayu karet

Komposisi kimia	Kontrol	Torefaksi		
		200°C	250°C	300°C
Kadar abu (%)	0,40	0,41	0,48	0,59
Selulosa (%)	43,13	41,27	43,13	42,29
Hemiselulosa (%)	13,59	13,58	13,59	2,33
Lignin (%)	30,11	30,11	38,78	47,38

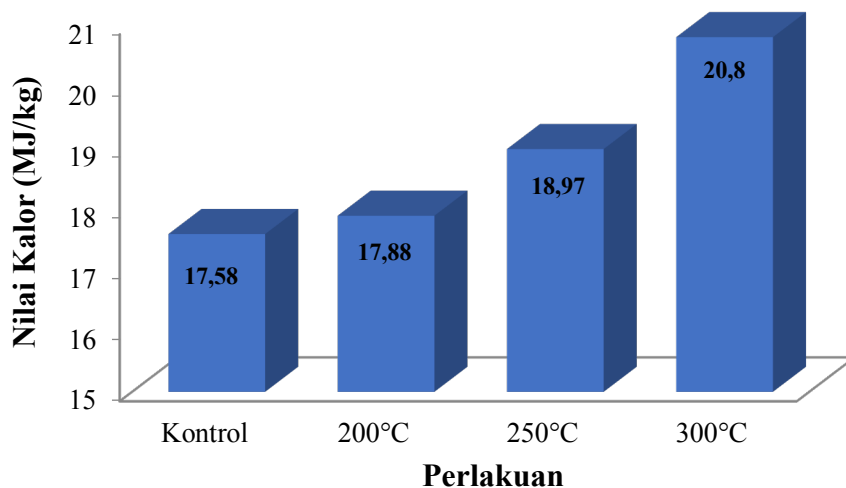
Kandungan hemiselulosa, selulosa, dan lignin pada pelet biomassa dapat terdegradasi seiring dengan peningkatan suhu yang diberikan. Kandungan hemiselulosa pada sampel pelet kontrol sebesar 13,59% dan setelah ditorefaksi dengan suhu tinggi mengalami penurunan hingga 2,33%, kandungan selulosa pada sampel pelet kontrol sebesar 43,13% dan setelah ditorefaksi dengan suhu tinggi mengalami penurunan hingga 42,29%, namun penurunan yang terjadi tidak secara signifikan karena selisih penurunannya hanya sebesar 0,84%. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Harun et al. (2017) menyatakan bahwa selulosa dan hemiselulosa dapat terdegradasi pada suhu 300°C dibandingkan dengan suhu yang lebih rendah yaitu 240°C, sehingga pada suhu 300°C kehilangan berat massa biomassa lebih tinggi. Kehilangan kandungan tersebut menyebabkan berat biomassa menurun dan sifat hidrofobik pada biomassa semakin tinggi.

Hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa kandungan lignin pada sampel pelet kontrol sebesar 30,11%, dan sampel torefaksi suhu tinggi meningkat menjadi 47,38%. Kandungan lignin yang semakin meningkat terjadi karena ikatan lignin melemah karena suhu yang tinggi, sehingga ikatan tersebut saling berkaitan antara lignin satu dengan lignin lainnya. Kandungan lignin pada sampel torefaksi suhu tinggi yang semakin meningkat disebabkan karena menurunnya kadar selulosa dan hemiselulosa yang lebih mudah terdegradasi akibat suhu tinggi (Lukmandaru et al. 2018).

Nilai kalor

Hasil penelitian yang disajikan pada Gambar 4 menunjukkan bahwa nilai kalor sampel pelet kontrol sebesar 17,58 MJ/kg dan mengalami peningkatan nilai kalor pada sampel torefaksi suhu tinggi sebesar 20,8 MJ/kg. Nilai kalor mengalami peningkatan sebesar 1,71%–18,32%. Sampel pelet kontrol memiliki nilai kalor yang lebih rendah dibandingkan dengan sampel torefaksi. Fernando dan Helwani (2016) menyatakan bahwa bahan baku briket memiliki nilai kalor sebesar 16,034 MJ/kg, setelah torefaksi nilai kalor yang didapatkan berkisar antara 17,091 MJ/kg–20,697 MJ/kg. Hasil tersebut menunjukkan peningkatan persentase nilai kalor sebesar 6,5–30%.

Nilai kalor dapat dijadikan sebagai parameter utama dalam menentukan kualitas pelet biomassa. Keberadaan nilai kalor dapat dipengaruhi oleh keberadaan kadar abu dan karbon terikat. Tingginya nilai kalor menunjukkan bahwa kualitas bahan bakar akan semakin baik. Keberadaan nilai kalor yang tinggi sangat menguntungkan pada penggunaan bahan bakar. Salah satu keuntungan dari nilai kalor yang tinggi yaitu dapat menghemat penggunaan bahan baku karena laju pembakaran menjadi lebih efisien. Laju pembakaran yang lebih efisien terjadi karena nilai kalor yang semakin meningkat sehingga laju pembakaran menjadi semakin lambat (Hanun 2014).



Gambar 4. Nilai kalor pelet kayu karet.

SIMPULAN

Torefaksi menggunakan reaktor COMB merubah warna pelet kayu karet menjadi pelet hitam (*black pellet*). Kadar air pelet menurun dari 12,25% menjadi 3,54% setelah torefaksi. Pelet yang ditorefaksi lebih tahan terhadap air, sehingga akan sangat menguntungkan ketika pelet disimpan pada kondisi lembab. Torefaksi juga menyebabkan penurunan kerapatan pelet, penurunan kandungan selulosa dan hemiselulosa, peningkatan kandungan lignin, serta peningkatan nilai kalor antara 1,71–18,32% seiring dengan peningkatan suhu torefaksi. Torefaksi dengan reaktor COMB dapat meningkatkan kualitas pelet kayu karet untuk meningkatkan nilai tambah produk.

SANWACANA

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Korea Institute of Energy Research (KIER), Korea Selatan yang telah mendanai penelitian ini (No Kontrak: KIER 2018-0020).

DAFTAR PUSTAKA

- Abd Kadir, S. A. S., Yin, C. Y., Rosli Sulaiman, M., Chen, X., and El-Harbawi, M. 2013. Incineration of Municipal Solid Waste in Malaysia: Salient Issues, Policies and Waste-to-Energy Initiatives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 24: 181–186. DOI: 10.1016/j.rser.2013.03.041
- Admojo, L., and Setyawan, B. 2018. Potensi Pemanfaatan Lognoselulosa dari Biomassa Kayu Karet (*Hevea brasiliensis* Muell Arg.). *Warta Perkaratan* 37(1): 39–50. DOI: 10.22302/ppk.wp.v37i1.529
- Adrian, A., Sulaeman, R., and Oktorini, Y. 2015. Karakteristik Wood Pellet dari Limbah Kayu Karet (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg) sebagai Alternatif Sumber Energi Terbarukan. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Pertanian Universitas Riau* 2(2): 1–6.
- Aripin, P. 2013. Pengaruh Torefaksi terhadap Sifat Fisik Pellet Biomassa yang Dibuat Dari Bahan Baku Bagas Tebu. Universitas Indonesia.

- Azhar, ., and Rustamaji, H. 2009. Bahan Bakar Padat dari Biomassa Bambu dengan Proses Torefaksi dan Densifikasi. *Jurnal Rekayasa Proses* 3(2): 26–29. DOI: 10.22146/jrekpros.563
- Badan Pusat Statistik. 2018. *Statistik Karet Indonesia 2017*. Badan Pusat Statistik, Jakarta, Indonesia.
- Badan Standardisasi Nasional. 2002. *Metode Pengujian Berat Jenis Kayu dan Bahan dari Kayu dengan Cara Pengukuran*. Badan Standardisasi Nasional (BSN), Jakarta, Indonesia.
- British Standards Institution. 2017. *BS EN ISO 18134-2:2017. Solid Biofuels - Determination of Moisture Content - Oven Dry Method. Part 2: Total Moisture - Simplified Method*. British Standards Institution (BSI).
- Direktorat Jenderal Perkebunan. 2017. *Statistik Perkebunan Indonesia Komoditas Karet 2015-2017*. Sekretariat Direktorat Jenderal Perkebunan, Direktorat Jenderal Perkebunan, Kementerian Pertanian, Jakarta, Indonesia.
- Esteves, B. M., and Pereira, H. M. 2009. Wood Modification by Heat Treatment: A Review. *BioResources* 4(1): 370–404.
- Fernando, A. Q., and Helwani, Z. 2016. Torefaksi Tandan Kosong Sawit: Pengaruh Kondisi Proses terhadap Nilai Kalor Produk Torefaksi. *Jurnal Fakultas Teknik* 3(2): 1–4.
- Hanun, F. 2014. Nilai Kalor Kayu yang Memiliki Kerapatan dan Kadar Lignin Berbeda. Institut Pertanian Bogor (IPB).
- Harun, N. H. H. M., Wahid, F. R. A. A., Saleh, S., and Samad, N. A. F. A. 2017. Effect of Torrefaction on Palm Oil Waste Chemical Properties and Kinetic Parameter Estimation. *Chemical Engineering Transactions* 56: 1195–1200. DOI: 10.3303/CET1756200
- Hidayat, W., and Febrianto, F. 2018. *Teknologi Modifikasi Kayu Ramah Lingkungan: Modifikasi Panas dan Pengaruhnya terhadap Sifat-sifat Kayu*. Pusaka Media, Bandar Lampung.
- Hidayat, W., Febrianto, F., Purusatama, B. D., and Kim, N. H. 2018a. Effects of Heat Treatment on the Color Change and Dimensional Stability of Gmelina arborea and Melia azedarach Woods. in: *E3S Web of Conferences* M. Amin, ed. EDP Sciences, Palembang, Indonesia 03010. DOI: 10.1051/e3sconf/20186803010
- Hidayat, W., Hasanudin, U., Iryani, D. A., Haryanto, A., Amrul, ., Kim, S., and Lee, S. 2018b. Torrefaction of Wood Pellets using Counter Flow Multi-Baffle (COMB) Technology. in: *Annual International Symposium of Institute of Forest Science (KNUIFS 2018)* KNU Institute of Forest Science, Chuncheon, Republic of Korea 7.
- Hidayat, W., Jang, J. H., Park, S. H., Qi, Y., Febrianto, F., Lee, S. H., and Kim, N. H. 2015. Effect of Temperature and Clamping during Heat Treatment on Physical and Mechanical Properties of Okan (*Cylicodiscus gabunensis* [Taub.] Harms) Wood. *BioResources* 10(4): 6961–6974. DOI: 10.15376/biores.10.4.6961-6974
- Hidayat, W., Qi, Y., Jang, J. H., Febrianto, F., and Kim, N. H. 2017a. Effect of Mechanical Restraint on the Properties of Heat-Treated Pinus koraiensis and Paulownia tomentosa Woods. *BioResources* 12(4): 7539–7551. DOI: 10.15376/biores.12.4.7452-7465
- Hidayat, W., Qi, Y., Jang, J. H., Febrianto, F., Lee, S. H., Chae, H. M., Kondo, T., and Kim, N. H. 2017b. Carbonization Characteristics of Juvenile Woods from Some Tropical Trees Planted in Indonesia. *Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University* 62(1): 145–152.
- Hidayat, W., Qi, Y., Jang, J. H., Febrianto, F., Lee, S. H., and Kim, N. H. 2016. Effect of Treatment Duration and Clamping on the Properties of Heat-Treated Okan Wood. *BioResources* 11(4): 10070–10086. DOI: 10.15376/biores.11.4.10070-10086
- Hidayat, W., Qi, Y., Jang, J. H., Park, B. H., Banuwa, I. S., Febrianto, F., and Kim, N. H. 2017c. Color Change and Consumer Preferences towards Color of Heat-Treated Korean

- White Pine and Royal Paulownia Woods. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 45(2): 213–222. DOI: 10.5658/WOOD.2017.45.2.213
- Iryani, D. A., Kumagai, S., Nonaka, M., Sasaki, K., and Hirajima, T. 2017. Characterization and Production of Solid Biofuel from Sugarcane Bagasse by Hydrothermal Carbonization. *Waste and Biomass Valorization* 8(6): 1941–1951. DOI: 10.1007/s12649-017-9898-9
- Jämsä, S., and Viitaniemi, P. 2001. Heat Treatment of Wood: Better Durability without Chemicals. in: *Proceedings of special seminar* Antibes, France.
- Lukmandaru, G., Susanti, D., and Widyorini, R. 2018. Sifat Kimia Kayu Mahoni yang Dimodifikasi dengan Perlakuan Panas. *Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea* 7(1): 37–46.
- Maryenti, R., Komalasari, K., and Helwani, Z. 2017. Pembuatan Bahan Bakar Padat dari Pelepah Sawit Menggunakan Proses Torefaksi pada Variasi Suhu Waktu Torefaksi. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau* 4(1): 1–4.
- Nasrin, A. B., Choo, Y. M., Lim, W. S., Joseph, L., Michael, S., Rohaya, M. H., Astimar, A. A., and Loh, S. K. 2011. Briquetting of Empty Fruit Bunch Fibre and Palm Shell as a Renewable Energy Fuel. *Journal of Engineering and Applied Sciences* 6(6): 446–451. DOI: 10.3923/jeasci.2011.446.451
- Salca, E. A., Kobori, H., Inagaki, T., Kojima, Y., and Suzuki, S. 2016. Effect of Heat Treatment on Colour Changes of Black Alder and Beech Veneers. *Journal of Wood Science* 62(4): 297–304. DOI: 10.1007/s10086-016-1558-3
- Sluiter, A., Hames, B., Ruiz, R., Scarlata, C., Sluiter, J., Templeton, D., and Crocker, D. 2015. *Determination of Structural Carbohydrates and Lignin in Biomass*. Colorado.
- Suganal, S., and Hudaya, G. K. 2019. Bahan Bakar Co-Firing dari Batubara dan Biomassa Tertorefaksi dalam Bentuk Briket (Skala Laboratorium). *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara* 15(1): 31–48. DOI: 10.30556/jtmb.Vol15.No1.2019.971
- Syamsiro, M. 2016. Peningkatan Kualitas Bahan Bakar Padat Biomassa dengan Proses Densifikasi dan Torrefaksi. *Jurnal Mekanika dan Sistem Termal* 1(1): 7–13.
- Valverde, J. C., and Moya, R. 2014. Correlation and Modeling between Color Variation and Quality of the Surface between Accelerated and Natural Tropical Weathering in Acacia mangium, Cedrela odorata and Tectona grandis Wood with Two Coating. *Color Research and Application* 39(5): 519–529. DOI: 10.1002/col.21826
- Warsono, Hasanudin, U., Iryani, D. A., Haryanto, A., Amrul, Hidayat, W., Kim, S., Yoo, J., and Lee, S. 2019. Cooperation Research for Torrefaction Technology. in: *Green Technology Partnership Initiative (GTPI) Technology Seminar* Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) Pp. 20.
- Widarti, A. 2017. Energi Terbarukan dari Batang Kelapa Sawit: Konversi Menggunakan Proses Torefaksi. Institut Pertanian Bogor.