



Perubahan sifat fisis dan mekanis pelet bambu andong (*Gigantochloa pseudoarundinaceae*) setelah perlakuan torefaksi

Karina Gracia Agatha Tambunan, Bagus Saputra, Intan Fajar Suri, Indra Gumay Febryano, Afif Bintoro, Wahyu Hidayat*

Kehutanan, Universitas Lampung, Bandar Lampung, Indonesia

Article history

Diterima:

31 Maret 2022

Diperbaiki:

30 Mei 2022

Disetujui:

3 Juni 2022

Keyword

Torrefaction;

Pellet;

Andong bamboo

ABSTRACT

*Torrefaction has been well known to improve the properties of various biomass pellets. However, the study on torrefaction of andong bamboo pellet is still limited. This study aimed to evaluate the changes in the physical and mechanical properties of Andong bamboo (*Gigantochloa pseudoarundinaceae*) pellets resulting from torrefaction. The pellets were torrefied at 200°C, 240°C, and 280°C using an electric furnace for 50 min. The physical properties analyzed were color, moisture content, density, water adsorption, and resistance to water immersion. A compressive strength test examined the mechanical property. The results showed that the color of bamboo pellets torrefied at 200°C, 240°C, and 280°C were changed, showing overall color change (ΔE^*) values of more than 12. The lightness (L^*) of the pellet remarkably decreased with the increase of torrefaction temperature. In other words, the pellet became darker with increasing temperature. The yellow/blue chromaticity (b^*) was also decreased with increasing the torrefaction temperature. However, the red/green chromaticity (a^*) increased at 200°C but decreased at 240°C and 280°C. Moisture content and pellet density decreased with increasing torrefaction temperature. The pellets' water adsorption decreased as the torrefaction temperatures increased at 200°C, 240°C, and 280°C. The results also showed that the torrefied pellets were more resistant to water immersion than the control pellet as they could maintain their original form even after 24 h immersion test. The compressive strength decreased as increasing the temperature. The torrefaction temperature affected and improved the properties of Andong bamboo pellets.*



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

* Penulis korespondensi

Email: wahyu.hidayat@fp.unila.ac.id

DOI 10.21107/agrointek.v17i1.14211

PENDAHULUAN

Energi merupakan komoditas yang mempengaruhi keberlangsungan pembangunan (Heyko *et al.*, 2016). Ketersediaan pasokan energi yang terbatas menjadi ancaman hingga terjadi kenaikan harga bahan bakar fosil yang tak terkendali (Limanseto, 2021). Permasalahan juga diperburuk dengan efek penggunaan energi fosil seperti meningkatnya kadar karbondioksida di udara, terciptanya hujan asam, menipisnya lapisan ozon serta efek gas rumah kaca semakin meningkat (BPS, 2018). Substitusi bahan baku perlu dilakukan untuk mengatasi permasalahan-permasalahan tersebut. Penggunaan energi baru dan terbarukan berupa energi biomassa menjadi solusi yang baik. Biomassa dianggap sebagai peluang dikarenakan banyaknya kelompok biomassa yang dapat dimanfaatkan sebagai energi antara lain biomassa kayu, biomassa non kayu, dan bahan bakar sekunder (Calle *et al.*, 2007). Biomassa non kayu terdiri atas beragam jenis, salah satunya berupa bambu.

Bambu merupakan tumbuhan beruas yang mudah ditemukan di berbagai tempat (Yani, 2012). Sebanyak 157 jenis bambu diperkirakan tumbuh di Indonesia (Widjaja dan Karsono, 2005) dan bambu andong (*Gigantochloa pseudoarundinaceae*) merupakan salah satu jenis bambu yang cukup banyak dimanfaatkan. Bambu andong umumnya dijadikan sebagai bahan kerajinan maupun kontruksi (Barly *et al.*, 2012). Bambu andong merupakan salah satu jenis biomassa yang memiliki keuntungan lain yaitu dapat dijadikan sebagai bahan bakar alternatif. Komposisi kimia penyusun bambu andong terdiri atas 78% holoselulosa dan 22% lignin (Bahtiar *et al.*, 2016). Umumnya kadar lignin dari biomassa memiliki korelasi dengan nilai kalor, kadar lignin yang tinggi mempengaruhi nilai kalor yang tinggi sehingga berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif (Lestari dan Priambodo, 2020).

Salah satu bentuk pemanfaatan bambu andong sebagai bahan bakar alternatif yaitu berupa pelet biomassa. Pelet biomassa merupakan bahan bakar biomassa yang diproses melalui pemadatan yang biasanya digunakan untuk industri sebagai pengganti batu bara, pemanas ruangan serta pengoperasian kompor pelet (Amirta, 2018). Secara alamiah pelet biomassa memiliki sifat yang cenderung menyerap air (hidrofilik) sehingga dapat mempengaruhi

kualitas dan masa simpan pelet biomassa (Hidayat *et al.*, 2020). Kualitas pelet dapat ditingkatkan melalui proses torefaksi. Torefaksi dikenal sebagai perlakuan biomassa dengan menggunakan suhu tinggi berkisar 200°C-300°C dalam kondisi sedikit atau tanpa oksigen (Hidayat *et al.*, 2020; Iryani *et al.*, 2020). Tujuan utama torefaksi dalam konteks bahan bakar adalah menghasilkan produk bioenergi dengan densitas yang tinggi (Haryanto *et al.*, 2021; Hidayat *et al.*, 2021; Wahyu *et al.*, 2020). Proses torefaksi memberikan beberapa keuntungan diantaranya meningkatkan nilai kalor, meningkatkan sifat hidrofobik suatu bahan bakar, mengurangi kuantitas penggunaan energi untuk kegiatan produksi serta dapat menjaga kualitas bahan bakar dari jamur dan mikroba selama proses transportasi dan penyimpanan (Alamsyah *et al.*, 2017; Sulistio *et al.*, 2020; Tumuluru *et al.*, 2011).

Penelitian mengenai torefaksi pelet sudah banyak dilakukan. Wibowo dan Lestari (2018) meneliti bahwa torefaksi kulit kacang optimal diperoleh pada suhu 300°C selama 60 menit dan memperoleh karakteristik pelet kulit kacang yang baik dalam hal kadar air (3,09%), kadar abu (6,11%), zat yang mudah menguap (38,38%), karbon tetap (55,44%), nilai kalor (6.174 kal/g), dan densitas (0,70 g/cm³). Torefaksi pada sekam padi dilakukan untuk mengkaji karakteristik sekam padi sebagai bahan bakar dan diperoleh suhu 260°C selama 30 menit untuk memperoleh kondisi torefaksi optimal (Chen *et al.*, 2014). Setkit *et al.* (2021) melaporkan bahwa pelet kayu hasil torefaksi memiliki karakteristik yang jauh lebih baik dibandingkan dengan pelet kayu kontrol dilihat dari besarnya energi yang dihasilkan. Pelet kayu hasil torefaksi menghasilkan energi sebesar 84,40% sedangkan pelet kayu kontrol menghasilkan energi sebesar 58,10%.

Torefaksi pelet bambu andong sudah pernah dilakukan namun penelitian ini masih sangat terbatas. Pah *et al.* (2021) dalam penelitiannya menganalisis sifat fisik pelet bambu andong hasil torefaksi pada suhu 280°C selama 40 menit. Pengembangan perlakuan torefaksi dilakukan dalam penelitian ini dengan menggunakan suhu 200°C, 240°C, dan 280°C selama 50 menit. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik pelet bambu andong yang diperoleh melalui proses torefaksi.

METODE

Bahan dan Alat

Penelitian dilakukan pada bulan Desember 2021 hingga Februari 2022. Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu pelet bambu andong hasil produksi Pusat Penelitian Biomaterial, LIPI. Persiapan bahan dan perlakuan torefaksi dilaksanakan di *Workshop Teknologi Hasil Hutan*, Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

Torefaksi Pelet Bambu Andong

Proses torefaksi menggunakan Innotech *electric furnace* model BJPX-Summer. Pelet bambu andong dibungkus dengan menggunakan aluminium foil berukuran 20 cm x 15 cm dan diberi 5 lubang secara acak. Variasi suhu yang diberikan yaitu 200°C, 240°C, dan 280°C dengan durasi torefaksi selama 50 menit.

Pengujian Pelet Bambu Andong

Karakteristik pelet yang diuji dalam penelitian ini meliputi warna, kadar air, kerapatan, adsorpsi uap air, ketahanan terhadap perendaman air. Analisis sifat mekanis dilakukan dengan menguji kekuatan tekan pelet.

Warna

Pengukuran parameter warna pelet meliputi kecerahan (L^*), kromatisasi merah/hijau (a^*), dan kromatisasi kuning/biru (b^*) dilakukan dengan menggunakan Colorimeter (Amtast AMT507) dan pengambilan data dilakukan sebanyak 5 ulangan.

Perubahan warna secara keseluruhan (ΔE^*) dihitung menggunakan persamaan berikut:

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

dimana ΔL^* adalah perubahan kecerahan, Δa^* adalah perubahan kromatisasi merah/hijau, Δb^* adalah perubahan kromatisasi kuning/biru.

Tingkat perubahan warna dapat dilihat dari 6 rentang nilai yang dikemukakan oleh Valverde dan Moya (2014) dimana $0 < \Delta E^* \leq 0,5$ menunjukkan perubahan warna yang dapat diabaikan, $0,5 < \Delta E^* \leq 1,5$ menunjukkan perubahan warna yang sedikit, $1,5 < \Delta E^* \leq 3$ menunjukkan perubahan warna nyata, $3 < \Delta E^* \leq 6$ menunjukkan perubahan warna besar, $6 < \Delta E^* \leq 12$ menunjukkan perubahan warna sangat besar, dan $\Delta E^* > 12$ menunjukkan warna berubah total.

Kadar Air

Pengujian kadar air pelet sebelum dan sesudah torefaksi diukur dengan cara menimbang

berat kering udara dan berat kering oven sampel berdasarkan SNI 8675:2018 (BSN, 2018). Kadar air pelet dihitung diperoleh dengan rumus berikut:

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

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

Kerapatan

Kerapatan pelet dihitung pada kondisi kering udara dan kering tanur. Nilai kerapatan diperoleh dengan rumus berikut:

$$KR = \frac{m}{v}$$

dimana KR adalah kerapatan (g/cm^3), m adalah massa (g), dan v adalah volume (cm^3). Perhitungan kerapatan mengacu kepada standar SNI 8021:2014.

Adsorpsi Uap Air

Pengujian adsorpsi uap air dilakukan dengan menimbang berat pelet selama 30 hari atau sampai berat konstan pada kondisi ruangan. Berat sampel diukur dengan menggunakan timbangan analitik yang memiliki ketelitian 1×10^{-4} g.

Ketahanan terhadap Perendaman Air

Ketahanan terhadap perendaman air dilakukan dengan cara merendam pelet ke dalam air dengan durasi pengamatan 1 menit, 5 menit, 30 menit, 1 jam, 6 jam, 12 jam, dan 24 jam kemudian dilihat perubahan secara visual yang terjadi.

Kekuatan Tekan

Pengujian kekuatan tekan pelet dilakukan menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM) Testometric M500-50AT. Perhitungan kekuatan tekan pelet menggunakan rumus

$$KT = \frac{F}{A}$$

dimana KT adalah kuat tekan (N/mm^2), F adalah gaya tekan maksimum (N), dan A adalah luas permukaan penampang (mm^2).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat Fisik

Warna

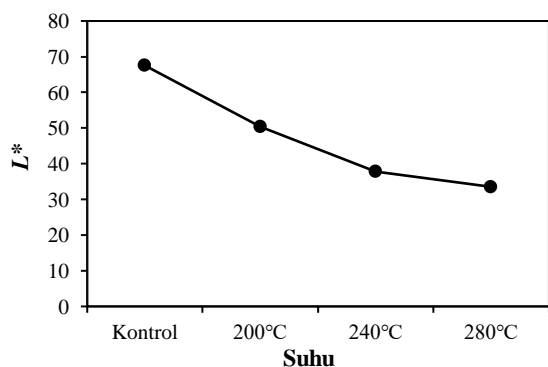
Hasil torefaksi pelet bambu andong pada suhu 200°C, 240°C, dan 280°C menunjukkan perubahan warna yang signifikan. Kenaikan suhu torefaksi menghasilkan warna yang semakin

gelap. Pelet berubah menjadi kecoklatan (*brown pellet*) setelah torefaksi pada suhu 200°C dan menjadi kehitaman pada suhu 240°C dan 280°C (Gambar 1). Hasil yang diperoleh sejalan dengan penelitian Rubiyanti *et al.* (2019), menyebutkan bahwa meningkatnya suhu torefaksi menyebabkan penggelapan warna pelet kayu karet. Torefaksi biomassa yang dilakukan Mamvura *et al.* (2018) menghasilkan perubahan warna yang diakibatkan oleh pemecahan hemiselulosa yang meninggalkan karbon hitam yang lebih tinggi.



Gambar 1 Tampilan Visual Pelet Bambu Andong: (a) kontrol, (b) setelah torefaksi pada suhu: (b) 200°C, (c) 240°C, dan 280°C

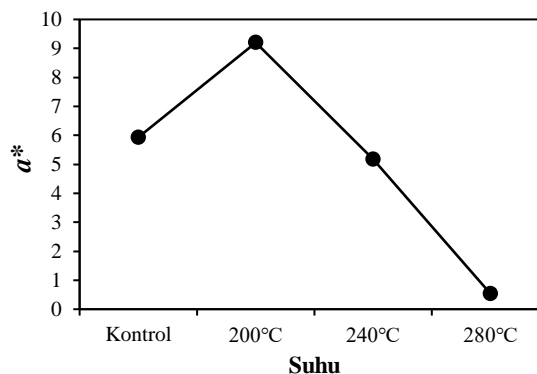
Kecerahan warna (L^*) pelet dapat dilihat perbedaannya secara numerik dengan menggunakan sistem CIE-Lab. Nilai L^* pada sistem CIE-Lab dinyatakan dalam rentang angka 1-100 yang dapat diartikan bahwa semakin besar angka yang diperoleh maka semakin cerah warna pelet yang diuji. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai L^* berbanding terbalik dengan peningkatan suhu torefaksi yang diberikan. Semakin tinggi suhu maka warna pelet yang dihasilkan akan semakin gelap (Gambar 1).



Gambar 2 Tingkat Kecerahan (L^*) Pelet Bambu Andong Sebelum dan Setelah Torefaksi pada Berbagai Suhu Perlakuan

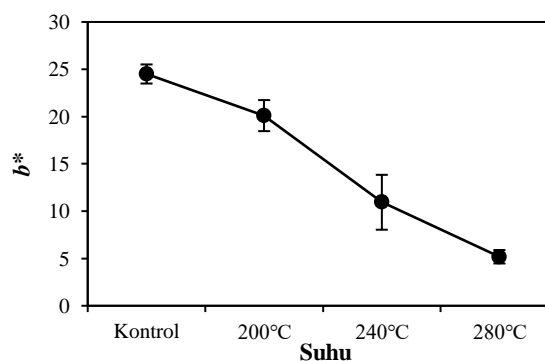
Parameter kromatisasi merah/hijau (a^*) pelet kontrol memiliki nilai sebesar 5,94 dan

mengalami kenaikan nilai a^* pada pelet torefaksi suhu 200°C menjadi 9,20. Namun didapati penurunan nilai a^* pada suhu 240°C dan 280°C menjadi 5,18 dan 0,54 (Gambar 3). Penelitian Chen *et al.* (2021) menunjukkan pada torefaksi suhu rendah menghasilkan nilai a^* yang tinggi namun nilai a^* akan turun saat suhu dinaikan. Hasil penelitian Suri *et al.* (2021) juga melaporkan bahwa nilai a^* menurun dengan meningkatnya suhu.



Gambar 3 Kromatisasi Merah/Hijau (a^*) Pelet Bambu Andong Sebelum dan Setelah Torefaksi pada Berbagai Suhu Perlakuan

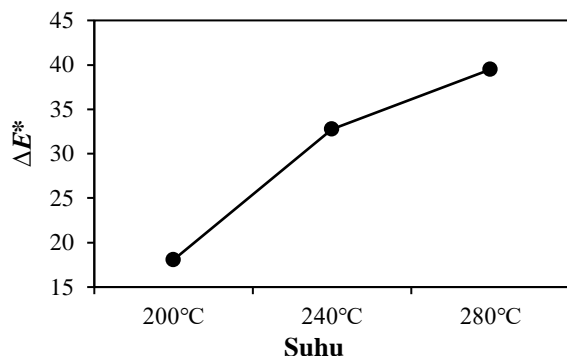
Hasil parameter kromatisasi kuning/biru (b^*) menunjukkan perubahan yang signifikan (Gambar 4). Semakin tinggi suhu torefaksi, nilai b^* yang dihasilkan akan semakin kecil. Sikora *et al.* (2018) menguji pengaruh perlakuan panas pada nilai b^* kayu *Quercus robur* dan menyatakan bahwa nilai b^* menurun dengan meningkatnya suhu yang diberikan. Yulianto *et al.* (2020) menyebutkan bahwa penurunan nilai b^* disebabkan adanya relokasi lignin serta degradasi komponen kimia kayu.



Gambar 4 Kromatisasi Kuning/Biru (b^*) Pelet Bambu Andong Sebelum dan Setelah Torefaksi pada Berbagai Suhu Perlakuan

Perubahan warna keseluruhan (ΔE^*) meningkat seiring dengan meningkatnya suhu

torefaksi (Gambar 5). Hal ini sejalan dengan penelitian Suri *et al.* (2021) yang melaporkan kenaikan nilai ΔE^* dengan meningkatnya suhu perlakuan panas terhadap kayu *Paulownia tomentosa* dan *Pinus koraiensis*.



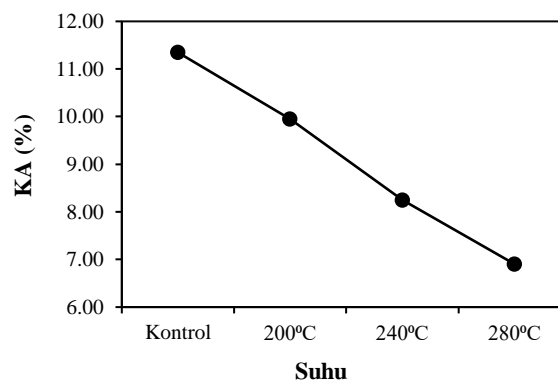
Gambar 5 Perubahan Warna Keseluruhan (ΔE^*) Pelet Bambu Andong Setelah Torefaksi pada Berbagai Suhu Perlakuan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa warna pelet berubah total setelah torefaksi pada suhu 200°C, 240°C, dan 280°C, sebagaimana ditunjukkan oleh nilai $\Delta E^* > 12$. Perubahan warna pada pelet dapat terjadi karena hemiselulosa yang terdegradasi akibat perlakuan suhu yang diberikan (Salca *et al.*, 2016). Wibowo dan Lestari (2018) dalam penelitiannya menyatakan bahwa perubahan warna disebabkan adanya perubahan kimia seperti perubahan komponen, asam amino, dan terbentuknya sistem cincin aromatik di dalam biomassa selama proses torefaksi.

Kadar Air

Hasil penelitian yang diperoleh menunjukkan adanya penurunan nilai kadar air terhadap pelet bambu andong. Kadar air sampel kontrol sebesar 11,35% setelah ditorefaksi pada suhu 280°C menjadi 6,90% (Gambar 6). Sejalan dengan penelitian yang dilakukan Peng *et al.* (2013) bahwa hasil analisis kadar air pelet kayu dan pelet serbuk gergaji semakin menurun setelah ditorefaksi pada suhu 240°C hingga 340°C. Hal ini terjadi akibat menguapnya kandungan air yang terkandung dalam pelet. Widarti (2017) menyebutkan bahwa penguapan air, bahan ekstraktif serta degradasi hemiselulosa yang diakibatkan oleh torefaksi dengan suhu tinggi dapat menurunkan nilai kadar air pelet biomassa. Semakin rendah kadar air pelet maka nilai kalor yang dihasilkan akan semakin tinggi (Rani *et al.*, 2020). Standar SNI 8675:2018 (BSN, 2018) menetapkan syarat maksimal kadar air biomassa sebesar 10% untuk penggunaan rumah tangga dan

12% untuk industri sehingga kadar air pelet bambu andong yang diperoleh dalam penelitian ini telah memenuhi standar yang berlaku.



Gambar 6 Kadar Air Pelet Bambu Andong Sebelum dan Setelah Torefaksi pada Berbagai Suhu Perlakuan

Kerapatan

Kerapatan merupakan perbandingan antara berat dengan volume (Ridjayanti *et al.*, 2021). Proses torefaksi menyebabkan terjadinya penurunan nilai kerapatan. Hal tersebut dibuktikan dengan nilai kerapatan udara pelet kontrol sebesar 1,28 g/cm³ menjadi 1,09 g/cm³ setelah ditorefaksi dengan suhu 280°C. Sampel pelet suhu 280°C kemudian dikering oven selama 24 jam dan diperoleh kerapatan oven sebesar 1,07 g/cm³ (Tabel 1). Penelitian ini sejalan dengan Rubiyanti *et al.* (2019) yang melaporkan bahwa kerapatan pelet kayu karet menurun seiring dengan meningkatnya suhu torefaksi. Pengurangan bobot massa dan volume selama proses perlakuan panas berlangsung dapat menyebabkan perubahan kerapatan (Hidayat *et al.*, 2015; Hidayat *et al.*, 2016). Peng *et al.* (2013) juga menyebutkan bahwa suhu torefaksi yang tinggi menyebabkan penguapan kelembaban sehingga kadar air aktual berkurang. Menurut Fatriani *et al.* (2018), semakin baik kualitas pelet kayu yang dihasilkan maka kerapatan yang diperoleh akan semakin tinggi, memudahkan proses penyimpanan hingga pendistribusian serta biaya yang diperlukan akan berkurang. Kerapatan yang terlalu tinggi dapat menjadi kelemahan karena mempersulit bahan bakar pelet untuk terbakar namun nilai kalor dan kuat tekan akan meningkat (Hendra, 2012).

Adsorpsi Uap Air

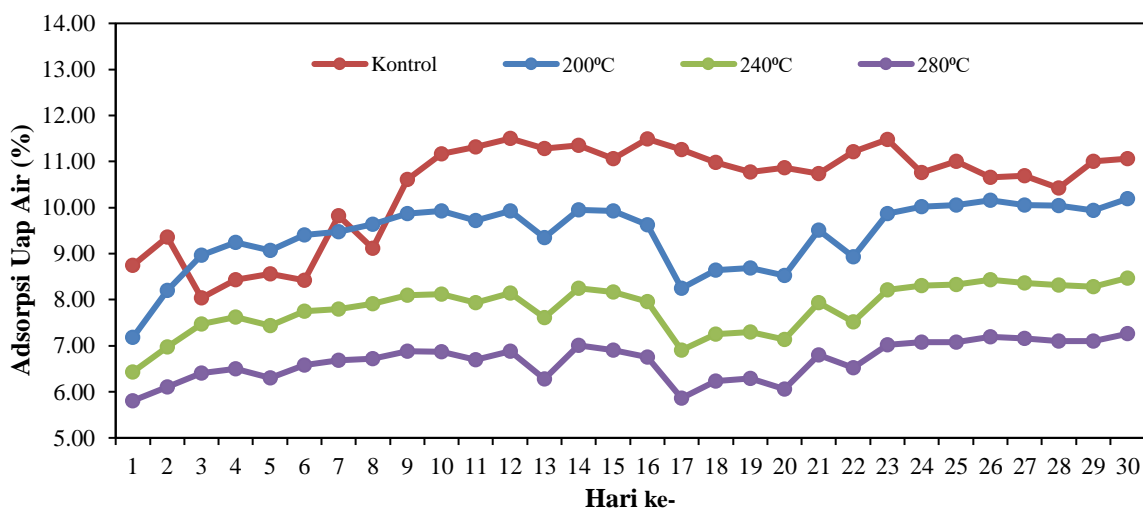
Adsorpsi uap air merupakan kemampuan pelet mengikat air yang terdapat di udara. Kemampuan ini erat kaitannya dengan sifat higroskopis yang alami dimiliki oleh biomassa.

Kenaikan adsorpsi uap air harian pelet dapat dilihat pada Gambar 7. Pelet bambu andong kontrol cenderung lebih mudah mengikat air dibandingkan dengan pelet torefaksi pada suhu tinggi. Sejalan dengan penelitian Yulianto *et al.* (2020), pelet kontrol tandan kosong kelapa sawit (TKKS) cenderung mengikat air daripada pelet TKKS hasil torefaksi suhu 280°C. Yoshida *et al.* (2021) juga mengungkapkan bahwa kelembaban

pelet sugi/cedar Jepang hasil torefaksi lebih rendah daripada pelet kontrol. Proses adsorpsi uap air erat kaitannya dengan kelembaban relatif. Penelitiannya juga menyatakan bahwa torefaksi dapat meningkatkan hidrofobisitas biomassa melalui penguraian fraksi karbohidrat yang hidrofilik dan mengkonversi secara parsial menjadi nonpolar.

Tabel 1 Kerapatan Pelet Bambu Andong Sebelum dan Setelah Torefaksi pada Berbagai Suhu Perlakuan

Suhu (°C)	Kerapatan (g/cm ³)	
	Kering Udara	Kering Oven
Kontrol	1,28	1,27
200	1,25	1,23
240	1,21	1,20
280	1,09	1,07



Gambar 7 Perubahan Adsorpsi Uap Air Pelet Bambu Andong selama 30 Hari Pengujian

Tabel 2 Ketahanan Pelet Bambu Andong terhadap Perendaman Air

Suhu	Waktu Perendaman						
	1 menit	5 menit	30 menit	1 jam	6 jam	12 jam	24 jam
Kontrol							
200°C							
240°C							
280°C							

Ketahanan terhadap Perendaman Air

Ketahanan pelet bambu andong terhadap perendaman air dilakukan dalam kondisi kering oven. Sampel direndam dengan air bersuhu ruangan dan dilihat perubahan visual pada Tabel 2. Perubahan tercepat terjadi pada pelet kontrol. Pelet kontrol telah mengembang sejak menit pertama dan setelah 6 jam perendaman mengalami disintegrasi bentuk.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Wang *et al.* (2020) melaporkan bahwa pelet kayu kontrol mengalami pembengkakan dan disintegrasi dalam waktu singkat setelah direndam dalam air. Disintegrasi bentuk terjadi akibat adanya ruang pada pori yang dapat diisi oleh air. Lee *et al.* (2020) dalam penelitiannya mengamati pembengkakan yang terjadi pada pelet kayu yang telah ditetesi air. Pembengkakan terjadi karena meningkatnya volume partikel kayu yang didorong oleh partikel yang ada dibawahnya. Pembengkakan juga menyebabkan terpisahnya komponen partikel satu dengan yang lain sehingga daya tahan pelet menurun.

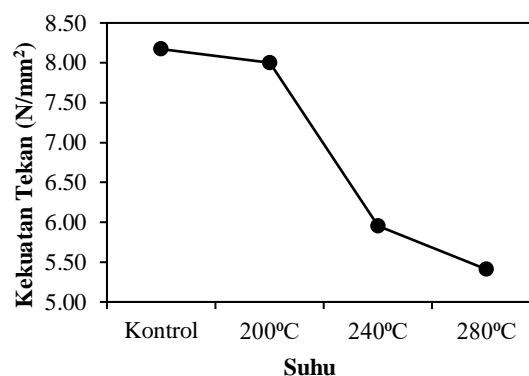
Pelet hasil torefaksi suhu 200°C dan 240°C tidak mengalami disintegrasi namun perubahan warna air mulai terjadi setelah perendaman 1 jam untuk pelet torefaksi suhu 200°C dan 6 jam untuk pelet torefaksi suhu 240°C. Perubahan warna air disebabkan oleh zat ekstraktif yang tidak terurai sempurna saat torefaksi. Penelitian ini sejalan dengan Sulistio *et al.* (2020) yang melaporkan bahwa pelet yang ditorefaksi pada suhu 260°C masih mengandung bahan ekstraktif dan bahan ekstraktif tersebut terlarut setelah direndam dalam air. Pelet torefaksi suhu 280°C menunjukkan tidak ada perubahan struktur setelah mengalami perendaman selama 72 jam. Integrasi stuktur pelet disebabkan oleh dekomposisi biomassa terutama hemiselulosa selama proses torefaksi sehingga gugus hidroksil (OH) dalam polimer kayu hancur dan terjadi perubahan struktur. Hal tersebut mengakibatkan pengurangan ikatan hidrogen yang bertugas mengikat air sehingga pelet torefaksi lebih sulit untuk menyerap air (Manouchehrinejad, *et al.*, 2018; Ghiasi *et al.*, 2014; Zhang, *et al.*, 2020).

Sifat Mekanis

Kekuatan Tekan

Hasil penelitian menunjukkan kekuatan tekan pelet kontrol sebesar 8,17 N/mm². Gambar 8 menunjukkan kekuatan tekan pelet sedikit

menurun setelah torefaksi pada suhu 200°C menjadi 8,00 N/mm², dan menurun drastis setelah torefaksi pada suhu yang lebih tinggi (240°C dan 280°C). Penurunan kekuatan tekan pelet setelah torefaksi berhubungan dengan menurunnya kerapatan pelet yang ditorefaksi (Tabel 1). Selain itu, penurunan kekuatan tekan juga kemungkinan berhubungan dengan degradasi hemiselulosa yang disebabkan oleh proses torefaksi. Hal ini sejalan dengan penelitian Awoyemi dan Jones (2011) yang menyatakan bahwa degradasi hemiselulosa setelah perlakuan panas menyebabkan penurunan berat dan kerapatan, sehingga menurunkan sifat mekanis.



Gambar 8 Kekuatan Tekan Pelet Bambu Andong Sebelum dan Setelah Torefaksi pada Berbagai Suhu Perlakuan

KESIMPULAN

Torefaksi memberikan peningkatan pada karakteristik pelet bambu andong. Parameter warna menunjukkan perubahan yang signifikan. Tingkat kecerahan (L^*) pelet menurun dengan meningkatnya suhu torefaksi. Peningkatan nilai a^* sejalan dengan peningkatan suhu torefaksi. Peningkatan suhu menyebabkan nilai b^* terus menurun. Perubahan total warna keseluruhan (ΔE^*) secara signifikan berubah. Semakin tinggi suhu yang diberikan maka nilai ΔE^* akan semakin besar. Kadar air dan kerapatan pelet berkurang dengan meningkatnya suhu torefaksi yang diberikan. Adsorpsi uap air pada pelet kontrol lebih tinggi dibandingkan dengan pelet torefaksi. Perlakuan perendaman air menyebabkan disintegrasi pada pelet kontrol sedangkan pelet torefaksi lebih tahan terhadap air. Penurunan nilai kuat tekan pelet sejalan dengan peningkatan suhu perlakuan dan berhubungan dengan menurunnya kerapatan pelet setelah torefaksi. Torefaksi dengan suhu yang berbeda memberikan perbedaan pada karakteristik pelet. Torefaksi mampu meningkatkan kualitas pelet.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah terlibat dan berkontribusi dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Alamsyah, R., Siregar, N. C., Hasanah, F. 2017. Torrefaction Study for Energy Upgrading on Indonesian Biomass as Low Emission Solid Fuel. in: IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science* 1–10. doi:10.1088/1755-1315/65/1/012051
- Amirta, R. 2018. *Pelet Kayu Energi Hijau Masa Depan*. Buku. Mulawarman University Press. 81 hlm.
- Amri, I., Muchlis, T., Helwani, Z. 2021. Upgrading Karakteristik Biopellet Tandan Kosong Sawit Dengan Penambahan Oil Sludge Sebagai CoFiring. *Journal of the Bioprocess, Chemical, and Environmental Engineering Science*. (1): 1-11.
- Awoyemi, L., Jones, I. P. 2011. Anatomical explanations for the changes in properties of western red cedar (*Thuja plicata*) wood during heat treatment. *Wood Science and Technology* 45(2): 261-267. doi:10.1007/s00226-010-0315-9
- Badan Pusat Statistik. 2018. Statistik Lingkungan Hidup Indonesia (SLHI) 2018. Badan Pusat Statistik/BPS Statistics Indonesia, 1–43.
- Bahtiar, E.T., Nugroho, N., Surjokusumo, S., Karlinasari, L., Nawawi, D.S., Lestari, D.P. 2016. Pengaruh Komponen Kimia dan Ikatan Pembuluh terhadap Kekuatan Tarik Bambu. *Jurnal Teknik Sipil*. 23(1): 31-40.
- Barly, Ismanto, A., Martono, D. Abdurachman, Andianto. 2012. Sifat Fisis dan Stabilisasi Dimensi Beberapa Jenis Bambu Komersial. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*. 30(3) : 163-170.
- BSN., 2018, SNI 8675: Pelet Biomassa untuk Energi, Badan Standardisasi Nasional (BSN), Jakarta, Indonesia.
- Calle, F., Rosillo, P. Groot, S. L. Hemstock, & Wood. 2007. *The Biomass Assessment Handbook: Bioenergy for a Sustainable Environment*, London: Earthscan.
- Chen, D. Zhou, J., Zhang, Q., Zhu, X., Lu, Q. 2014. Upgrading of rice husk by torrefaction and its influence on the fuel properties. *BioResources*. 9(4): 5893–5905.
- Chen, W., Lin, B., Lin, Y., Chu, Y., Ubando, A.T., Show, P.L., Ong, H.C., Chang, J., Ho, S., Culaba, A.B., Pétrissans, A., Pétrissans, M. 2021. Progress in biomass torrefaction: Principles, applications and challenges. *Progress in Energy and Combustion Science*. 82. doi:10.1016/j.peccs.2020.100887
- Fatriani, Sunardi, Arfianti. 2018. Kadar Air, Kerapatan, dan Kadar Abu Wood Pellet Serbuk Gergaji Kayu Galam (*Melaleuca cajuputi* Roxb) dan Kayu Akasia (*Acacia mangium* Wild). *Jurnal Envirosientea*. 14(1): 77-81.
- Ghiasi, B., Kumar, L., Furubayashi, T., Lim, C.J., Bi, X., Kim, C.S., Sokhansanj, S. 2014. Densified biocoal from woodchips: Is it better to do torrefaction before or after densification?. *Applied Energy*. 134: 133–142. doi:10.1016/j.apenergy.2014.07.076
- Haryanto, A., Nita, R., Telaumbanua, M., Suharyatun, S., Hasanudin, U., Hidayat, W., Iryani, D.A., Triyono, S., Amrul, Wisnu, F.K. 2021. Torrefaction to improve biomass pellet made of oil palm empty fruit bunch. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 749: 012047.
- Hendra, D. 2012. Rekayasa Pembuatan Mesin Pellet dan Pengujian Hasilnya. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*. 30(2):144-154.
- Heyko, E., Hasid, Z., Priyagus. 2016. Strategi Pemanfaatan Energi Terbarukan dalam Rangka Kemandirian Energi Daerah Provinsi Kalimantan Timur. *Jurnal Ekonomi, Keuangan, dan Manajemen*. 12(1):1-28.
- Hidayat, W., Jang, J. H., Park, S. H., Qi, Y., Febrianto, F., Lee, S. H., 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., Lee, S. H., Kim, N. H. 2016. Effect of treatment duration and clamping on the properties of heat-treated okan wood. *BioResources*. 11(4): 10070-10086. North Carolina State University. doi:10.15376/biores.11.4.10070-10086.

- Hidayat, W., Rani, I.T., Yulianto, T., Febryano, I.G., Iryani, D.A., Hasanudin, U., Lee, S.H., Kim, S.D., Yoo, J.H., Haryanto, A. 2020. Peningkatan Kualitas Pelet Tandan Kosong Kelapa Sawit melalui Torefaksi Menggunakan Reaktor Counter-Flow Multi Baffle (COMB). *Jurnal Rekayasa Proses*. 14(2) : 169-181.
- Hidayat, H, Rubiyanti, T., Sulistio, Y., Iryani, D.A., Haryanto, A., Amrul, Yoo, J.H., Kim, S.D., Lee, S.H., Hasanudin, H. 2021. Effects of Torrefaction Using COMB Dryer/Pyrolizer on the Properties of Rubberwood (*Hevea brasiliensis*) and Jabon (*Anthocephalus cadamba*) Pellets. *Proceedings of the International Conference on Sustainable Biomass (ICSB 2019)*. 202: 209-213.
- Iryani, D. A., Haryanto, A., Wahyu Hidayat, Amrul, M Talambanua, U Hasanudin, Sihyun Lee. 2019. Torrefaction Upgrading of Palm Oil Empty Fruit Bunches Biomass Pellets for Gasification Feedstock by using COMB (Counter Flow Multi-Baffle) Reactor. 7th Trend in Agricultural Engineering (TAE) 2019 Pages 212-217
- Lee, J.S., Sokhansanj, S., Lau, A.K., Lim, C.J. 2020. Physical properties of wood pellets exposed to liquid water. *Biomass and Bioenergy*. 142. doi:10.1016/j.biombioe.2020.105748
- Lestari, V.A. dan Priambodo, T.B. 2020. Kajian Komposisi Lignin dan Selulosa Dari Limbah Kayu Sisa Dekortikasi Rami dan Cangkang Kulit Kopi untuk Proses Gasifikasi Downdraft. *Jurnal Energi dan Lingkungan*. 16(1) : 1-8.
- Limanseto, H. 2021. Transisi Energi Ciptakan Pembangunan Berkelanjutan yang Ramah Lingkungan. (<https://www.ekon.go.id/publikasi/detail/3353/transisi-energi-ciptakan-pembangunan-berkelanjutan-yang-ramah-lingkungan>, diakses pada 08 Maret 2022).
- Mamvura, T.A. Pahla, G., Muzenda, E. 2018. Torrefaction of Waste Biomass for Application in Energy Production in South Africa. *South African Journal of Chemical Engineering*. 25:1-12. doi 10.1016/j.sajce.2017.11.003
- Manouchehrinejad, M. dan Mani, S. 2018. Torrefaction after pelletization (TAP): Analysis of torrefied pellet quality and co-products. *Biomass and Bioenergy*. 118:93-104. doi: 10.1016/j.biombioe.2018.08.015
- Medic, D., Darr, M., Shah, A., Rahn, S. Effect of Torrefaction on Water Vapor Adsorption Properties and Resistance to Microbial Degradation of Corn Stover. *Energy&Fuels*. 26:2386-2393. Doi: 10.1021/ef3000449
- Pah, J.M., Suryanegara, L., Haryanto, A., Hasanudin, U., Iryani, D.A., Wulandari, C., Yoo, J., Kim, S., Lee, S., Hidayat, W. 2021. Product Characteristics from the Torrefaction of Bamboo Pellets in Oxidative Atmosphere. *Proceedings of the International Conference on Sustainable Biomass (ICSB 2019)*. 202: 185-189. doi: 10.2991/aer.k.210603.032
- Peng, J.H., Bi., H.T., Lim., C.J., Sokhansanj, S. 2013. Study on Density, Hardness, and Moisture Uptake of Torrefied Wood Pellets. *Energy&Fuels*. 27(2):967-974. doi: 10.1021/ef301928q
- Rani, I.T., Hidayat, W., Febryano, I.G., Iryani, D.A., Haryanto, A., Hasanudin, U. 2020. Pengaruh Torefaksi Terhadap Sifat Kimia Pelet Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*. 9(1):63-70.
- Ridjayanti, S.M., Bazenet, R.A., Hidayat, W., Banua, I.S., Riniarti, M. 2021. Pengaruh Variasi Kadar Perekat Tapioka Terhadap Karakteristik Briket Arang Limbah Kayu Sengon (*Falcataria moluccana*). *Jurnal Perennial*. 17(1): 5-11
- Rubiyanti, T., Hidayat, W., Febryano, I.G., Bakri, S. 2019. Karakterisasi Pelet Kayu Karet (*Hevea brasiliensis*) Hasil Torefaksi dengan Menggunakan Reaktor *Counter-Flow Multi Baffle* (COMB). *Jurnal Sylva Lestari*. 7(3):321-331.
- Salca, E. A., Kobori, H., Inagaki, T., Kojima, Y., 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
- Setkit, N., Li, X., Yao, H., Worasuwanarak, N. 2021. Torrefaction behavior of hot-pressed pellets prepared from leucaena wood. *Bioresource Technology*. (321). doi: 10.1016/j.biortech.2020.124502
- Sikora, A., Kačík, F., Gaff, M., Vondrová, V., Bubeníková, T., Kubovský, I., 2018. Impact

- of thermal modification on color and chemical changes of spruce and oak wood. *Jurnal of Wood Science*. 64:406-416. doi: 10.1007/s10086-018-1721-0
- Sulistio, Y., Febryano, I.G., Hasanudin, U., Yoo, J.H., Kim, S.D., Lee, S.H., Hidayat, W. 2020. Pengaruh Torefaksi dengan Reaktor Counter-Flow Multi Baffle (COMB) dan Electric Furnace terhadap Pelet Kayu Jabon (*Anthocephalus cadamba*). *Jurnal Sylva Lestari*. 8(1): 65-76.
- Suri, I.F., Kim, J.H., Purusatama, B.D., Yang, G.U., Prasetya, D., Lee, S.H., Hidayat, W., Febrianto, F., Park, B.H., Kim, N.M. 2021. Comparison of the Color and Weight in *Paulownia tomentosa* and *Pinus koraiensis* wood Heat-treated in Hot Oil and Hot Air. *Bioresources*. 16(3):5574-5585. doi: 10.15376/biores.16.3.5574-5585
- Tumuluru, J.S., Sokhansanj, S., Hess, J.R., Wright, C.T., Boardman, R.D. 2011. A Review on Biomass Torrefaction Process and Product Properties for Energy Applications. *Industrial Biotechnology*. doi: 10.1089/ind.2011.7.384.
- Valverde, C.J., 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
- Wahyu, R., Amrul, dan Irsyad, M. 2020. Karakteristik Bahan Bakar Padat Produk Torefaksi Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit Menggunakan Reaktor Torefaksi Kontinu Tipe Tubular. *Jurnal Inovasi Vokasional dan Teknologi*. 20(2): 1-8.
- Wang, L., Riva, L., Skreiberg, Ø., Khalil, R., Bartocci, P., Yang, Q., Yang, H. Wang, X., Chen, D., Rudlsson, M., Nielsen, H.K. 2020. Effect of Torrefaction on Properties of Pellets Produced from Woody Biomass. *Energy&Fuels*. 34(12):15343-15354. doi: 10.1021/acs.energyfuels.0c02671
- Wibowo, S. dan Lestari, N. 2018. Effect of Peanut Shell Torrefaction on Qualities of The Produced Bio-pellet. *Jurnal Reaktor*, 18(4):183-193.
- Widarti, A. 2017. Energi Terbarukan dari Batang Kelapa Sawit: Konversi Menggunakan Proses Torefaksi.
- Widjaja, E.A. dan Karsono. 2005. Keanekaragaman Bambu di Pulau Sumba. *Jurnal Biodiversitas*. 6(2):95-99.
- Yani, A.P. 2012. Keanekaragaman dan Populasi Bambu di Desa Talang Pauh Bengkulu Tengah. *Jurnal Exacta*. 10(1):61-70.
- Yoshida, T., Kuroda, K., Kamikawa, D., Kubojima, Y., Nomura, T., Watada, H., Sano, T., Ohara, S. 2021. Water Resistance of Torrefied Wood Pellets Prepared by Different Methodes. *Energies*. 14(6):1618-1628. doi: 10.3390/en14061618
- Yulianto, T., Febryano, I.G., Iryani, D.A., Haryanto, A., Hasanudin, U., dan Hidayat, W. 2020. Perubahan Sifat Fisis Pelet Tandan Kosong Kelapa Sawit Hasil Torefaksi. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*. 9(2): 104-111.
- Zhang, Y., Chen, F., Chen, D., Cen, K., Zhang, J., Cao, X. 2020. Upgrading of Biomass Pellets by Torrefaction and Its Influence on The Hydrophobicity, Mechanical Property, and Fuel Quality. *Biomass Convers. Biorefin*. DOI: 10.1007/s13399-020-00666-5.