

PERUBAHAN SIFAT FISIS PELET TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT HASIL TOREFAKSI

CHANGES IN PHYSICAL PROPERTIES OF OIL PALM EMPTY FRUIT BUNCH PELLETS CAUSED BY TORREFACTION

Tri Yulianto¹, Indra Gumay Febryano¹, Dewi Agustina Iryani², Agus Haryanto¹, Udin
Hasanudin¹, Wahyu Hidayat¹✉

¹ Fakultas Pertanian, Universitas Lampung

² Fakultas Teknik, Universitas Lampung

✉ Komunikasi Penulis, email: wahyu.hidayat@fp.unila.ac.id

DOI: <http://dx.doi.org/10.23960/jtep-lv9i2.104-111>

Naskah ini diterima pada 29 Maret 2020; revisi pada 29 Mei 2020;
disetujui untuk dipublikasikan pada 8 Juni 2020

ABSTRACT

*Oil palm (*Elaeis guineensis*) empty fruit bunch (EFB) is solid waste derived from palm oil industry and it is promising to be used as source of renewable energy due to its abundance and relatively low price of raw materials. The properties of oil palm EFB can be enhanced for bioenergy application through torrefaction process. Torrefaction is a thermochemical treatment of biomass at temperatures ranging between 200 and 300°C and it is generally performed under inert atmosphere. This study aimed to determine the changes in physical properties of oil palm EFB pellets via torrefaction using electric furnace (EF). Torrefaction was conducted at a temperature of 280°C with a duration of 20 minutes. The changes in color, density, equilibrium moisture content (EMC), and hygroscopic property of EFB pellets after torrefaction were evaluated. The results showed that the color of oil palm empty fruit bunch pellets totally changed after torrefaction with EF produced the highest E^* value of 14.97. Pellet density was 0.58 g/cm³ and after torrefaction with EF it became 0.48 g/cm³. Moisture content of oil palm empty fruit bunches pellets was 11.54%, and after torrefaction with EF decreased to 6.66%. Water resistance test shows that the torrefaction pellet is more resistant to water than the non-torrefacted pellet, so it will be very beneficial when the pellet is used for a long time and in humid conditions.*

Keywords: color, oil palm empty fruit bunch, pellet, physical properties, torrefaction

ABSTRAK

Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan salah satu limbah padat dari industri minyak sawit yang potensial untuk digunakan sebagai energi terbarukan karena ketersediaannya yang melimpah dan harga bahan baku yang relatif murah. Sifat-sifat TKKS dapat ditingkatkan menggunakan metode torefaksi. Torefaksi adalah perlakuan termokimia pada kisaran suhu 200-300°C dengan kondisi *inert* (oksigen terbatas). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan sifat fisis pelet TKKS melalui torefaksi dengan menggunakan *electric furnace* (EF). Torefaksi pelet TKKS pada penelitian ini menggunakan suhu 280°C dengan durasi 20 menit. Pengujian pelet TKKS meliputi perubahan warna, kerapatan, kadar air, dan ketahanan terhadap perendaman air. Hasil penelitian menunjukkan bahwa warna pelet tandan kosong kelapa sawit berubah total setelah torefaksi dengan nilai perubahan warna (E^*) sebesar 14,97. Kerapatan awal pelet sebesar 0,58 g/cm³ menurun dan setelah torefaksi menjadi 0,48 g/cm³. Kadar air awal pelet tandan kosong kelapa sawit sebesar 11,54% menurun setelah torefaksi menjadi 6,66%. Uji ketahanan terhadap air menunjukkan bahwa pelet yang ditorefaksi lebih tahan terhadap air dibandingkan pelet yang belum ditorefaksi, sehingga sangat menguntungkan ketika pelet disimpan dalam waktu yang lama dan pada kondisi lembab.

Kata kunci: sifat fisis, tandan kosong kelapa sawit, torefaksi, warna

I. PENDAHULUAN

Biomassa didefinisikan sebagai produk organik dari pertanian, perkebunan dan kehutanan yang dikembangkan untuk bahan bakar, dari limbah dan fasilitas pengolahan limbah. Biomassa dapat dihasilkan secara langsung sebagai produk atau limbah dari pengolahan hasil perkebunan atau kehutanan (Panwar *et al.*, 2011). Salah satu biomassa yang melimpah dari limbah perkebunan adalah tandan kosong kelapa sawit (TKKS). Pada tahun 2015 luas lahan perkebunan kelapa sawit di Indonesia sekitar 10 juta ha, dengan rincian perkebunan kelapa sawit rakyat sekitar 4 juta ha, perkebunan kelapa sawit milik Badan Usaha Milik Negara (BUMN) 0,7 ribu ha dan perkebunan kelapa sawit swasta sekitar 5 juta ha (Direktorat Jenderal Perkebunan, 2014).

Salah satu potensi pemanfaatan limbah TKKS yaitu sebagai sumber bioenergi. Pemanfaatan TKKS sebagai bioenergi dapat dilakukan dengan proses densifikasi, yaitu pemadatan biomassa dengan cara pengempaan/penekanan sehingga rapat massa dan kerapatan potensi energinya meningkat (Syamsiro, 2016). Produk yang dihasilkan dari proses densifikasi salah satunya ialah pelet biomassa. Namun, pelet biomassa memiliki kekurangan diantaranya tidak dapat disimpan lama dan memiliki daya serap air yang tinggi serta nilai kalor yang relatif rendah (Rani *et al.*, 2020; Rubiyanti *et al.*, 2019). Teknologi torefaksi dapat digunakan untuk pengolahan pelet biomassa agar kualitas meningkat dan biomassa dapat dipergunakan dalam rentang waktu lama (Basu, 2013).

Torefaksi merupakan proses pemanasan bahan baku biomassa dengan suhu yang terkendali antara 200°C-300°C. Proses torefaksi ini membawa perubahan karakteristik struktur biomassa tersebut menjadi arang yang keras dan ulet (Nur, 2014). Torefaksi dilakukan untuk mengetahui perubahan visual warna pada pelet TKKS dan pengaruh suhu torefaksi terhadap sifat fisis pelet TKKS. Pada penelitian ini, pengolahan pelet TKKS menjadi sumber energi biomassa dilakukan dengan menggunakan *electric furnace* (EF). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh torefaksi dengan EF terhadap perubahan sifat fisis pelet tandan kosong kelapa

sawit meliputi perubahan warna kadar air, nilai kerapatan, dan ketahanan terhadap air.

II. BAHAN DAN METODA

Penelitian ini dilakukan pada bulan Juli-Desember 2019 di *Workshop* Laboratorium Teknologi Hasil Hutan Laboratorium Lapang Terpadu, Laboratorium Teknologi Hasil Hutan, dan Laboratorium Daya dan Mesin Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Bahan utama yang digunakan berupa pelet tandan kosong kelapa sawit (TKKS) yang telah disiapkan lalu dilakukan penyaringan menggunakan saringan (*strainer*) dengan tujuan memisahkan pelet TKKS dengan debu dan serbuk sisa pelet.

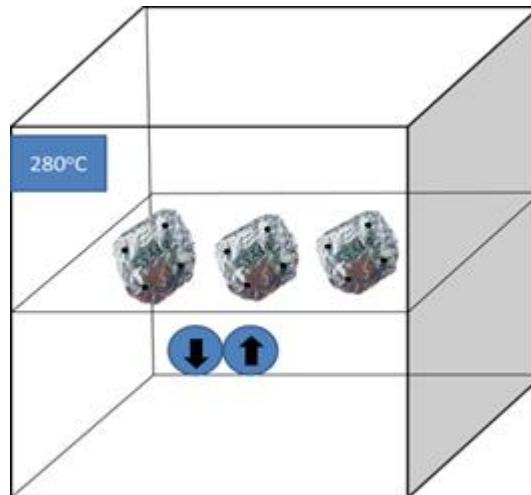
Pelet TKKS yang digunakan memiliki ukuran panjang 1-2 cm dengan diameter 0,85-0,88 cm. Sampel pelet TKKS kemudian disimpan dengan menggunakan kontainer plastik untuk menjaga pelet dari kelembaban udara. Pelet TKKS dibungkus dengan *aluminium foil* yang dilubangi pada setiap sisinya untuk mencegah pembakaran selama proses torefaksi (Gambar 1). Torefaksi dengan *electric furnace* (EF) dilakukan pada suhu 280°C dengan durasi 20 menit.

Pengujian warna dan sifat fisis dilakukan terhadap pelet TKKS sebelum dan setelah ditorefaksi. Pengujian 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 (E^*) dapat dihitung menggunakan Persamaan 1 (Esteves dan Pereira, 2009):

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

Dimana, L^* , a^* , dan b^* , secara berurutan adalah perubahan kecerahan, perubahan kromatisasi merah/hijau, dan perubahan kromatisasi kuning/biru setelah torefaksi.

Derajat perubahan warna ditentukan berdasarkan klasifikasi (Valverde dan Moya (, 2014):



Gambar 1. Skema Torefaksi Menggunakan *Electric Furnace*

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

Sifat fisis yang diamati meliputi kerapatan, kadar air, dan ketahanan terhadap perendaman air. Pengujian kerapatan dilakukan pada kondisi kering tanur berdasarkan standar SNI 01-6235-2000 (Badan Standardisasi Nasional 2000) dengan mengukur berat dan volume sampel dan dihitung dengan Persamaan 2.

$$KR = \frac{m}{v} \quad (2)$$

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

Pengujian kadar air dilakukan berdasarkan standar SNI 8021.2014. Berat kering udara dan berat kering tanur diukur untuk menentukan kadar air sampel sebelum dan setelah torefaksi. Kadar air (KA) dihitung dengan Persamaan 3.

$$KA = \frac{(BA - BKT)}{BA} * 100\% \quad (3)$$

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

Uji ketahanan terhadap air dilakukan dengan merendam pelet kayu jabon ke dalam air dan dilihat perubahan visual yang terjadi pada pelet

kayu jabon setelah perendaman selama 5, dan 30 menit, serta 1, 6, dan 12 jam.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Perubahan Warna

Perubahan nilai parameter warna pelet TKKS dapat dilihat pada Tabel 1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada sampel sebelum torefaksi (kontrol) pelet TKKS memiliki kecerahan (L^*) tertinggi, dan nilai L^* menurun setelah torefaksi. Kromatisasi merah/hijau (a^*) pelet TKKS mengalami penurunan setelah torefaksi. Kromatisasi kuning/biru (b^*) menunjukkan tren yang sama dengan nilai L^* dan a^* , dimana nilai b^* semakin menurun setelah torefaksi.

Perubahan warna keseluruhan (E^*) pada gambar 3 pelet TKKS mengalami peningkatan setelah torefaksi. Tabel 1 menunjukkan bahwa E^* setelah torefaksi pada suhu 280°C memiliki nilai > 12 , dengan kata lain warna pelet yang ditorefaksi berubah total. Perlakuan panas terhadap kayu dapat menyebabkan perubahan warna karena terjadi degradasi hemiselulosa (Hidayat *et al.*, 2017; Hidayat *et al.*, 2018). Sampel kontrol memiliki warna yang lebih terang, namun saat suhu pemanasan mencapai 220°C warna sampel menjadi lebih gelap. Menurut Karlinasari *et al.* (2018) perlakuan pemanasan terhadap kayu memberikan pengaruh bahwa hingga suhu 180°C terjadi perubahan warna secara visual menjadi lebih

Tabel 1. Perubahan Parameter Warna Pelet Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)

No	Perlakuan	Suhu (°C)	Durasi (menit)	L	A	b	ΔE
1	Kontrol			33,63 (2,10)	3,97 (0,67)	6,73 (4,08)	-
2	<i>Electric Furnace</i>	280	20	20,10 (2,04)	0,27 (0,23)	3,40 (0,89)	14,97 (1,00)

Keterangan: Nilai merupakan rata-rata dari tiga pengukuran. Angka dalam kurung merupakan standar deviasi



Gambar 2. Warna Pelet TKKS: (a) Sebelum Torefaksi/Kontrol, (b) Torefaksi pada Suhu 280°C Durasi 20 Menit dengan EF

gelap. Perubahan warna dengan kisaran 45-50% terjadi pada suhu 120°C ke 150°C dan suhu 120°C ke 180°C terjadi sekitar $\pm 75\%$. Penelitian sebelumnya juga menunjukkan bahwa parameter warna L^* , a^* , dan b^* pelet sebelum torefaksi (kontrol) menurun seiring dengan meningkatnya suhu torefaksi (Sulistio *et al.*, 2020). Menurut Rubiyanti *et al.* (2019) bahwa warna pelet kayu karet berubah total setelah torefaksi pada suhu 200°C – 300°C. Hasil penelitian Hadiyane (2011) menunjukkan bahwa peningkatan suhu mulai dari 170"190°C terjadi perubahan warna kayu menjadi lebih gelap secara berangsur-angsur. Perubahan warna terjadi karena adanya perubahan suhu yang menyebabkan adanya relokasi lignin serta degradasi komponen kimia kayu.

3.2. Kerapatan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kerapatan pelet TKKS menurun setelah torefaksi. Nilai kerapatan pelet TKKS kontrol sebesar 0,58 g/cm³ menurun setelah torefaksi menjadi 0,48 g/cm³ (Tabel 2). Hasil penelitian sejalan dengan hasil penelitian Sulistio *et al.* (2020) yang menyatakan bahwa proses torefaksi mengakibatkan penurunan nilai kerapatan pada pelet kayu jabon ukuran panjang dan pendek. Pelet ukuran panjang dan pendek sebelum

ditorefaksi memiliki nilai kerapatan sebesar 1,05 g/cm³ dan 0,97 g/cm³. Kerapatan pelet menurun nilai kerapatannya dengan meningkatnya suhu torefaksi. Kerapatan pelet ukuran panjang dan pendek menurun hingga 0,87 g/cm³ dan 0,75 g/cm³ setelah ditorefaksi dengan EF. Perubahan kerapatan bisa terjadi karena disebabkan pengurangan bobot masa dan volume selama proses perlakuan panas berlangsung (Hidayat *et al.*, 2015; Hidayat *et al.* 2016).

3.3. Kadar Air

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kadar air setelah torefaksi menjadi turun. Nilai kadar air dapat dilihat pada Tabel 3 dengan ukuran nilai 6,66% melalui perlakuan *electric furnace*, dan kontrol memiliki kadar air 11,56%. Nilai kadar air terkecil terdapat pada perlakuan *electric furnace* dan nilai kadar air terbesar terdapat pada sampel kontrol yaitu 7,81%. Hal ini sejalan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Asip *et al.* (2014) menyatakan bahwa kadar air pada briket memiliki kecenderungan untuk menurun seiring dengan meningkatnya suhu perlakuan.

Menurut Sriharti dan Salim (2011), rendahnya kadar air yang diperoleh disebabkan oleh lamanya pengeringan yang dilakukan,

Tabel 2. Kerapatan Pelet TKKS

Perlakuan	Suhu (°C)	Durasi (Menit)	Kerapatan gr/cm ³
Kontrol	280	20	0,58 (0,04)
<i>Electric Furnace</i>			0,48 (0,08)

Keterangan: Nilai merupakan rata-rata dari tiga pengukuran. Angka dalam kurung merupakan standar deviasi

Tabel 3. Kadar Air Pelet TKKS

Perlakuan	Suhu (°C)	Durasi (Menit)	Kadar Air (%)
Kontrol	280	20	11,54 (0,43)
<i>Electric Furnace</i>			6,66 (0,89)

Keterangan: Nilai merupakan rata-rata dari tiga pengukuran. Angka dalam kurung merupakan standar deviasi

sebagaimana halnya briket, pelet juga dibuat melalui proses pemadatan. Torefaksi dengan menggunakan suhu yang semakin tinggi menyebabkan penguapan air dan bahan ekstraktif serta degradasi hemiselulosa sehingga kadar airnya semakin menurun (Widarti, 2017). Kandungan air pada pelet biomassa yang rendah menyebabkan kualitas pelet semakin meningkat dan berpengaruh terhadap nilai kalor sehingga lebih mudah untuk dinyalakan (Gultom *et al.*, 2017).

Penelitian yang dilakukan oleh Susilowati *et al.* (2017) yang menyatakan bahwa menurunnya kadar air dan kadar volatil diakibatkan oleh semakin banyaknya air dan komponen-komponen volatil yang menguap seiring dengan meningkatnya suhu torefaksi. Menurut Obernberger *et al.* (2004) kadar air yang tinggi dapat menurunkan nilai kalor, sehingga akan mengurangi efisiensi konversi dan kinerja sejumlah energi yang digunakan untuk menguapkan air tersebut, sedangkan kadar air yang rendah akan meningkatkan efisiensi dan kinerja dalam melancarkan keberlanjutan pembakaran.

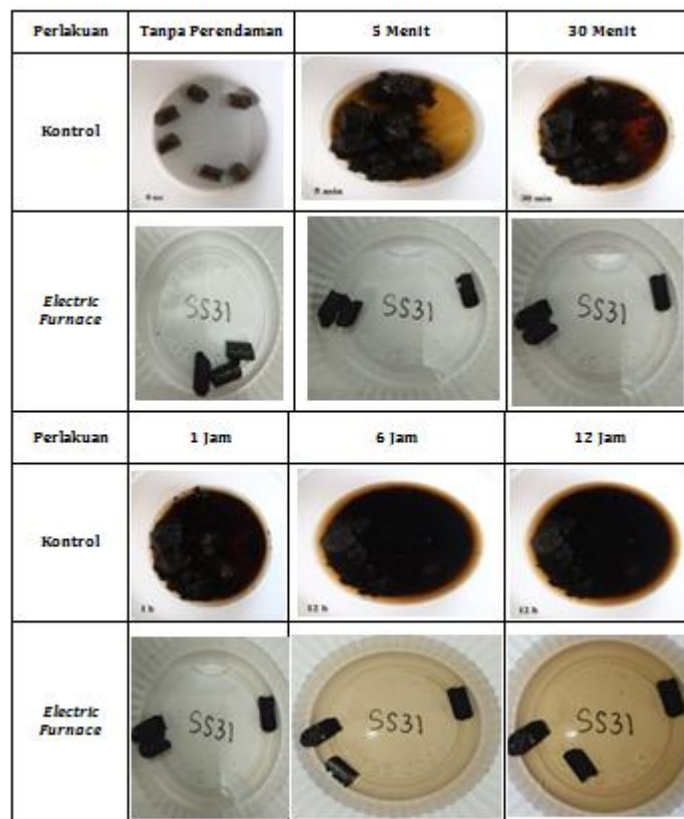
3.4. Ketahanan Terhadap Air

Pengujian ketahanan terhadap air dilakukan untuk mengetahui ketahanan pelet terhadap kecepatan dalam menyerap air selama batas waktu sampai 12 jam. Sampel pelet biomassa yang dilakukan perendaman memberikan reaksi yang berbeda-beda. Terlihat pada Gambar 4 sampel pelet kontrol memiliki tingkat ketahanan yang sangat rendah yaitu pada menit ke-5 sudah mengalami kerusakan pada bagian pelet, sedangkan sampel dengan perlakuan menggunakan *electric furnace*, memiliki

ketahanan yang kuat, pada menit ke-30 kondisi struktur pelet kontrol sudah mulai hancur dan ada yang menyebar ke air. Namun pada jam ke-1 sampel perlakuan kontrol sudah mulai mengalami kerusakan struktur hingga seluruh bagian menyebar ke air dan terurai, begitu pula sampai jam ke-12. Sampel pelet dengan perlakuan *electric furnace* memiliki ketahanan yang lebih baik dibandingkan dengan sampel kontrol.

Kerusakan struktur pelet biomassa disebabkan karena kerapatan pada pelet biomassa masih tergolong sangat rendah sehingga air masuk melalui celah pelet dengan sangat cepat. Berdasarkan hasil pengujian kadar air dan daya serap air, torefaksi mengubah sifat higroskopis pelet dari hidrofilik (cenderung menyerap air) menjadi hidrofobik (tahan terhadap air). Sifat hidrofobik pelet sangat menguntungkan dalam penyimpanan maupun aplikasinya. Biomassa yang bersifat hidrofilik lebih mendukung aktivitas biologis seperti dekomposisi, jamur, dan pembusukan ketika ditumpuk (disimpan) dalam volume dan durasi tertentu (Ashman *et al.*, 2018); Evangelista *et al.*, 2018). Penelitian Rubiyanti *et al.* (2019) menyatakan bahwa 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. Hal ini menunjukkan bahwa ekstraktif pada pelet belum seluruhnya teroksidasi setelah torefaksi pada suhu 200°C dan 250°C. Penelitian yang dilakukan Aripin (2013) menyatakan bahwa bagas tebu yang tidak ditorefaksi mengalami kenaikan *moisture*



Gambar 4. Hasil Uji Ketahanan Terhadap Air dari Pelet Tandan Kosong Kelapa Sawit

content yang tinggi 5,56% pada menit ke-30 dan terus meningkat hingga 7,35% pada menit ke-240. Hal tersebut terjadi karena bagas tebu memiliki kemampuan menyerap air yang tinggi. Kemampuan bagas tebu menyerap air disebabkan karena adanya kandungan polisakarida dalam bentuk hemiselulosa, selulosa, dan lignin.

IV. KESIMPULAN

Torefaksi menggunakan *electric furnace* menyebabkan terjadinya perubahan warna secara visual yang semakin gelap. Nilai kerapatan pelet TKKS kontrol sebesar 0,58 g/cm³ menurun setelah torefaksi menjadi 0,48 g/cm³. Persentase kadar air pada sampel kontrol sebesar 11,56%, sampel dengan perlakuan *electric furnace* memiliki kadar air terendah sebesar 6,66%. Ketahanan terhadap air pelet dengan perlakuan *electric furnace* memiliki ketahanan yang lebih baik dibandingkan dengan sampel kontrol. Kerusakan struktur pelet biomassa disebabkan karena kerapatan pada pelet biomassa masih tergolong sangat rendah

sehingga air masuk melalui celah pelet dengan sangat cepat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung oleh riset grant BPDPKS (Badan Pengelola Dana Perkebunan Kelapa Sawit) Nomor Kontrak PRJ-85/DPKS/2018.

DAFTAR PUSTAKA

- Aripin, P. 2013. *Pengaruh Torefaksi Terhadap Sifat Fisik Pellet Biomassa yang Dibuat Dari Bahan Baku Bagas Tebu*. (Skripsi). Fakultas Teknik. Universitas Indonesia. Jakarta.
- Ashman, J. M., Jones, J. M., and Williams, A. 2018. Some Characteristics of the Self-Heating of the Large Scale Storage of Biomass. *Fuel Processing Technology* 174: 1–8. DOI: 10.1016/j.fuproc.2018.02.004.
- Asip, F., Anggun, T, dan Fitri, N. 2014. Pembuatan briket dari campuran limbah plastik ldpe,

- tempurung kelapa dan cangkang sawit. *Jurnal Teknik Kimia*. 2(2): 45-54.
- Basu, P. 2013. *Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction-Practical Design and Theory*. Buku. Academic Press. San Diego. 145 Hlm.
- Esteves, B. M., and Pereira, H. M. 2009. Wood Modification by Heat Treatment: A Review *BioResources* 4(1): 370–404. Direktorat Jenderal Perkebunan. 2014. *Statistik Perkebunan Indonesia Kelapa Sawit Indonesia 2013-2015*. Direktorat Jenderal Perkebunan. Jakarta.
- Evangelista, B., Arlabosse, P., Govin, A., Salvador, S., Bonnefoy, O., and Dirion, J. La. 2018. Reactor Scale Study of Self-Heating and Self-Ignition of Torrefied Wood in Contact with Oxygen. *Fuel* 214: 590–596. DOI: 10.1016/j.fuel.2017.11.048.
- Gultom, R. N., Sulaeman, R, dan Budiani, E.S. 2017. Pemanfaatan limbah kayu jabon dan limbah serat sawit sebagai bahan baku briket arang. *Jurnal Fakultas pertanian Ur*. 4(1): 1-5.
- Hadiyane, A. 2011. *Perubahan Sifat-Sifat Komponen Penyusun Kayu, Struktur Sel Kayu dan Sifat-Sifat Dasar Kayu Terdensifikasi Secara Parsial*. (Skripsi). Sekolah Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor. Bogor. 176 hlm.
- Hidayat, W., Febrianto, F., Purusatama, B. D., and Kim, N. H. 2018. Effects of Heat Treatment on the Color Change and Dimensional Stability of Gmelina arborea and Melia azedarach Woods. in: *E3S Web of Conferences*. 68:03010. DOI: 10.1051/e3sconf/20186803010.
- Hidayat, W., Qi, Y., Jang, J. H., Park, B. H., Banuwa, I. S., Febrianto, F., and Kim, N. H. 2017. 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.
- Hidayat, W., Qi, Y., Jang, J. H., Febrianto, F., Lee, S. H, dan 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., Jang, J. H., Park, S. H., Qi, Y., Febrianto, F., Lee, S. H, dan 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.
- Karlinasari, L., Yoresta, F. S, dan Priadi, T. 2018. Karakteristik perubahan warna dan kekerasan kayu termodifikasi panas pada berbagai suhu dan jenis kayu. *Jurnal Ilmu Teknologi Kayu Tropis*. 16(1): 68-82.
- Nur, H. 2014. *Karakteristik Kelapa Sawit Sebagai Bahan Baku Bioenergi*. Buku. PT. Insan Fajar Mandiri Nusantara. Bogor.
- Obernberger, L dan Thek, G. 2004. Physical Characterisation and Chemical Composition of densified Biomass Fuels with Regard to Their Combustion Behavior, *Biomass and Bioenergy*, 27: 653-669.
- Panwar, V., Prasad, P., & Wasewar, K. L. 2011. Biomass residue briquetting and characterization. *Journal of Energy Engineering ASCE*. 4(7):108-114.
- Rani, I. T., Hidayat, W., Febryano, I. G., Iryani, D. A., Haryanto, A., and Hasanudin, U. 2020. Pengaruh Torefaksi terhadap Sifat Kimia Pelet Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Jurnal Teknik Pertanian* 9(1): 63–70. DOI: 10.23960/jtep-lv9i1.63-70.
- Rubiyanti, T., Hidayat, W., Febryano, I. G., and 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. DOI: 10.23960/jsl37321-331.

- Sriharti Dan Salim, T. 2011. Pengaruh Komposisi Bahan Terhadap Karakterisasi Pellet Limbah Biji Jarak Pagar (*Jatropha Curcas* Linn). *Teknologi Indonesia..* 34: 40-48.
- Sulistio, Y., Febryano, I. G., Yoo, J., Kim, S., Lee, S., Hasanudin, U., and 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. DOI: 10.23960/jsl1865-76
- Susilowati., Komalasari, dan Helwani, Z. 2017. Bahan bakar padat dari pelepah sawit menggunakan proses torefaksi; variasi suhu dan ukuran bahan baku. *Jurnal Fakultas Teknik.* 4(1): 1-4.
- Syamsiro, M. 2016. Peningkatan kualitas bahan bakar padat biomassa dengan proses densifikasi dan torrefaksi. *Journal Mek. Sist. 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.
- Widarti, A. 2017. Energi Terbarukan dari Batang Kelapa Sawit: Konversi Menggunakan Proses Torefaksi.