

PENGARUH VARIASI SUHU TOREFAKSI TERHADAP PERUBAHAN WARNA DAN SIFAT FISIK PELET KALIANDRA (*Calliandra calothyrsus*)

Porto Mauritio, Duryat, Melya Riniarti, Wahyu Hidayat*
Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung
*Penulis korespondensi. Email: wahyu.hidayat@fp.unila.ac.id

Abstract

Indonesia has a large supply of raw materials for making biomass pellets. *Calliandra calothyrsus* is one kind of plant that could potentially be used as a source of wood pellet raw materials. This study aims to determine the effect of torrefaction temperature on the color change and physical properties of calliandra pellets. Torrefaction was performed in an electric furnace for 50 minutes at 200°C, 220°C, 240°C, 260°C, and 280°C. The characteristics that were assessed were weight reduction and color change. Brightness (L^*), red/green chromaticization (a^*), yellow/blue chromaticization (b^*), and color change (E^*) were the color characteristics that were measured. Color parameters were measured with a Colorimeter using the CIE-Lab* color system. The results showed that torrefaction affected the color of the calliandra pellets. The higher the temperature used, the ΔE^* will increase. The total color change occurred at 220°C, 240°C, 260°C and 280°C marked with a value of $\Delta E^* > 12$. The weight of the calliandra pellets decreased after heat treatment. The most significant decrease occurred at 280°C; this was because the density and moisture content of the pellets decreased as the torrefaction temperature increased.

Keywords: Pellets, Kaliandra, Torrefaction, Color Change, Weight Loss

Abstrak

Indonesia memiliki sumber bahan baku yang melimpah untuk produksi pelet biomassa. Salah satu tumbuhan yang berpotensi untuk dijadikan bahan baku pembuatan wood pellet adalah Kaliandra (*Calliandra calothyrsus*). Penelitian ini mengkaji pengaruh suhu torefaksi terhadap perubahan warna dan sifat fisik pelet kaliandra. Torefaksi dilakukan dengan electric furnace selama 50 menit menggunakan suhu 200°C, 220°C, 240°C, 260°C, dan 280°. Parameter yang dievaluasi terdiri dari perubahan warna dan penurunan berat. Parameter warna yang diukur berupa kecerahan (L^*), kromatisasi kuning/biru (b^*), kromatisasi merah/hijau (a^*), dan perubahan warna (ΔE^*). Evaluasi perubahan warna diukur dengan Colorimeter menggunakan sistem warna CIE-Lab*. Hasil penelitian menunjukkan torefaksi mempengaruhi warna pelet kaliandra. Semakin tinggi suhu yang digunakan, maka ΔE^* akan meningkat. Perubahan warna secara total terjadi pada suhu 220°C, 240°C, 260°C, dan 280°C ditandai dengan nilai $\Delta E^* > 12$. Berat pelet kaliandra menurun setelah perlakuan panas. Penurunan terbesar terjadi pada suhu 280°C, hal tersebut dikarenakan kerapatan dan kadar air pada pelet akan menurun seiring dengan meningkatnya suhu torefaksi.

Kata kunci: Pelet, Kaliandra, Torefaksi, Perubahan Warna, Penurunan Berat

PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara tropis dengan luas daratan sekitar 9 juta km², atau 1,3% dari luas daratan dunia (Kusmana dan Hikmat, 2015). Karena letaknya yang menguntungkan, Indonesia merupakan negara dengan sumber daya alam yang cukup besar. Salah satu kekayaan alam yang memiliki potensi tinggi untuk di kembangkan yaitu hutan, yang apabila

dikelola secara efektif, keragaman sumber daya hutan dan segala potensi yang dimilikinya dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan (Mayangsari *et al.*, 2019). Salah satunya adalah untuk membantu pembangunan ekonomi dan berfungsi sebagai sistem pendukung kehidupan yang vital. Apabila keanekaragaman hayati tersebut hilang, tentu saja akan menimbulkan suatu dampak serius bagi lingkungan maupun kesejahteraan manusia dalam berbagai aspek

(Herwanti *et al.*, 2022). Pemanfaatan keanekaragaman hayati secara bijaksana dapat dilakukan dengan menjadikannya sebagai sumber energi alternatif yang terbarukan untuk menggantikan energi fosil yang saat ini telah krisis. Biomassa hadir sebagai solusi dan menjadi salah satu sumber energi alternatif terbarukan (Nabila *et al.*, 2023; Ridjayanti *et al.*, 2021). Biomassa diproduksi melalui proses fotosintesis, memberikan potensi untuk menyediakan energi secara bersih, berkelanjutan, dan efisien serta meningkatkan efisiensi penggunaan biomassa untuk kegiatan sehari-hari seperti memasak dan memanaskan (Hidayat *et al.*, 2022a; Saputra *et al.*, 2022).

Pengembangan bioenergi dapat dimanfaatkan untuk produksi energi terbarukan, seperti pelet yang terbuat dari bahan baku biomassa kayu. Manfaat konversi biomassa menjadi pelet termasuk peningkatan nilai kalor per volume, penyimpanan dan pengangkutan yang mudah, serta ukuran dan kualitas yang seragam (Rubiyanti *et al.*, 2019). Selain itu, penggunaan biomassa kayu tidak hanya ramah lingkungan dan berkelanjutan, tetapi juga dapat mengurangi emisi gas rumah kaca dan pencemaran lingkungan, terutama sebagai sumber tenaga pembangkit listrik (Haryanto *et al.*, 2021).

Indonesia memiliki potensi sebagai produsen pelet kayu utama karena luasnya hutan dan keanekaragaman hayati sebagai sumber bahan baku pellet (Hidayat *et al.*, 2022b). Salah satu tanaman yang berpotensi untuk dijadikan bahan baku pellet kayu adalah kaliandra. (*Calliandra calothyrsus*) (Abdulah 2019). Kaliandra dianggap potensial karena tumbuh dengan baik, berpenampilan baik, dan merupakan salah satu tanaman pionir. Tekstur kaliandra cukup padat, mudah dikeringkan, mudah terbakar, memiliki berat jenis antara 0,5 g/cm³ dan 0,8 g/cm³, serta dapat menghasilkan panas sebesar 4.200 kkal/kg sehingga kaliandra ideal untuk kayu bakar atau arang (Herdiawan *et al.*, 2005).

Pertumbuhan kaliandra yang cepat sehingga dapat dipanen setiap tahun dengan hasil yang sangat baik menjadi sebuah keuntungan memakai tanaman ini sebagai bahan

baku. Hal ini sekaligus menjawab kekhawatiran potensi masalah bahan baku produk pellet kayu jika pasokan bahan baku semakin sulit didapat. Energi terbarukan dapat dihasilkan dengan memanfaatkan pembuatan bioenergi dari pelet kayu. Namun, penggunaan pelet biomassa memiliki keterbatasan, seperti umur simpan yang pendek, daya serap air yang berlebihan, dan nilai kalor yang relatif rendah (Iryani *et al.*, 2019; Rani *et al.*, 2020). Kekurangan tersebut dapat diatasi dengan melakukan torefaksi (Hidayat *et al.*, 2020; Sulistio *et al.*, 2020).

Torefaksi merupakan teknologi yang menjanjikan untuk meningkatkan kualitas biomassa sebagai bahan bakar. Torefaksi sendiri merupakan perlakuan termal yang dapat mengatasi sebagian besar masalah yang berkaitan dengan kualitas biomassa sebagai bahan bakar. Proses ini menghasilkan pelet hitam, bahan bakar seperti batu bara padat, dengan sifat bahan bakar yang lebih baik daripada biomassa aslinya (Hidayat *et al.*, 2021). Torefaksi merupakan suatu perlakuan termal atau panas menggunakan suhu antara 200°C sampai 300°C pada tekanan atmosfer tanpa oksigen (Pah *et al.*, 2021).

Proses termal sedang ini memecah struktur serat biomassa sehingga biomassa menjadi lebih mudah untuk digiling. Secara efektif dapat meningkatkan kepadatan energi biomassa. Selain itu, hidrofobitas biomassa dapat di tingkatkan, sehingga stabilitas penyimpanannya meningkatkan (Yulianto *et al.*, 2020). Selama proses tersebut, sebagian biomassa terdekomposisi, mengeluarkan berbagai gas yang dapat terkondensasi dan tidak dapat terkondensasi. Produk akhir adalah padatan kaya karbon yang disebut sebagai *torrefied biomass*. Dalam literatur, proses torefaksi juga dikenal dengan beberapa nama, seperti pemanggangan (*roasting*), pirolisis lambat dan ringan (*slow and mild pyrolysis*), pemasakan kayu (*wood cooking*), dan pengeringan suhu tinggi (*high temperature drying*) (Bergman *et al.*, 2005).

Ilmu torefaksi lebih mudah dipahami dengan mengaitkannya dengan proses pirolisis, karena reaksi torefaksi pada dasarnya adalah langkah pertama dari reaksi dekomposisi pirolisis (Iryani *et al.*, 2019). Namun, kondisi prosesnya serupa, dan laju pemanasan torefaksi jauh lebih rendah. Nama *torrefaction* adalah kata Perancis yang berarti

roasting, yang umumnya mengacu pada pemanggangan biji kopi yang dilakukan di hadapan udara (oksigen) (Dhungana, 2011).

Torefaksi memiliki banyak manfaat dalam meningkatkan kualitas pelet biomassa, terutama pada sifat hidrofobiknya. Banyak penelitian sebelumnya terkait torefaksi pelet biomassa, seperti yang dilakukan oleh Saputra *et al.* (2022) yang melakukan torefaksi terhadap pelet bambu betung (*Dendrocalamus asper*). Namun, penelitian terkait pengaruh variasi suhu terhadap torefaksi pelet kaliandra masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh suhu torefaksi terhadap sifat fisik dan perubahan warna pelet kaliandra.

METODE PENELITIAN

Proyek penelitian ini dilaksanakan di Fakultas Pertanian Universitas Lampung, Laboratorium Teknologi Hasil Hutan, dan Workshop Laboratorium Jurusan Kehutanan. Penelitian dilakukan pada bulan Oktober sampai dengan November 2022. Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain timbangan elektrik (skala 0,0001 g), *electric furnace* (EF), dan colorimeter. Sementara bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah pelet kaliandra dan *aluminium foil*.

Pelaksanaan perlakuan awal dilakukan dengan menyortir pelet kaliandra berdasarkan ukuran sampel sebesar 4-5 cm, Pelet selanjutnya dikeringkan menggunakan *electric furnace* (EF) pada suhu 100°C selama 24 jam. Pengeringan dilakukan untuk menguapkan air yang terdapat pada pelet selama penyimpanan.

Proses torefaksi dilakukan pada suhu 200°C, 220°C, 240°C, 260°C, dan 280°C selama 50 menit. Setiap proses torefaksi, pelet dibungkus dengan aluminium foil. Setiap bungkus kemudian dilubangi dengan jarum di samping untuk memungkinkan sedikit udara keluar Setelah mencapai suhu target, sampel yang disiapkan dimasukkan dan suhu diatur ke suhu torefaksi yang ditentukan dengan durasi 50 menit. Sampel dikeluarkan dan didinginkan pada suhu kamar berkisar antara 20-30°C.

Analisis warna dan sifat fisis dilakukan terhadap pelet kaliandra dilakukan sebelum dan setelah proses torefaksi. Evaluasi perubahan

warna diukur dengan Colorimeter menggunakan sistem warna CIE-Lab*. Parameter warna yang diukur berupa kecerahan (L*), kromatisasi merah-hijau (a*), kromatisasi kuning-biru (b*), dan perubahan warna (ΔE^*). L* memiliki nilai maksimum 100 (putih) dan nilai minimum 0 (hitam). Kromatisasi a* memiliki nilai positif (warna mengarah pada kemerahan) dan nilai negative (warna mengarah pada kehijauan). Nilai (+b*) mengarah pada warna kekuningan dan nilai (-b*) mengarah pada warna kebiruan (Hidayat *et al.*, 2017). Perubahan warna ΔL^* , Δa^* , Δb^* , ΔE^* dapat dihitung dengan persamaan:

$$\begin{aligned} \Delta L^* &= L_2^* - L_1^* \\ \Delta a^* &= a_2^* - a_1^* \\ \Delta b^* &= b_2^* - b_1^* \\ \Delta E^* &= (\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{1/2} \end{aligned}$$

L_1^* , a_1^* , dan b_1^* adalah hasil pengukuran parameter warna sebelum perlakuan dan L_2^* , a_2^* , dan b_2^* adalah hasil pengukuran parameter warna setelah perlakuan (Hidayat *et al.*, 2017). Klasifikasi derajat perubahan warna dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi Perubahan Warna.

No	Nilai perubahan warna	Klasifikasi
1	$0,0 < \Delta E^* \leq 0,5$	Perubahan Dapat Dihiraukan
2	$0,5 < \Delta E^* \leq 1,5$	Perubahan Warna Sedikit
3	$1,5 < \Delta E^* \leq 3$	Perubahan Warna Nyata
4	$3 < \Delta E^* \leq 6$	Perubahan Warna Besar
5	$6 < \Delta E^* \leq 12$	Perubahan Warna Sangat Besar
6	$\Delta E^* > 12$	Warna Berubah Total

Analisis perubahan berat dilakukan dengan cara membandingkan berat sampel sebelum dan setelah proses torefaksi. Penurunan berat sampel (WL) dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$WL (\%) = 100\% \times (m1 - m2)/m1$$

Keterangan:

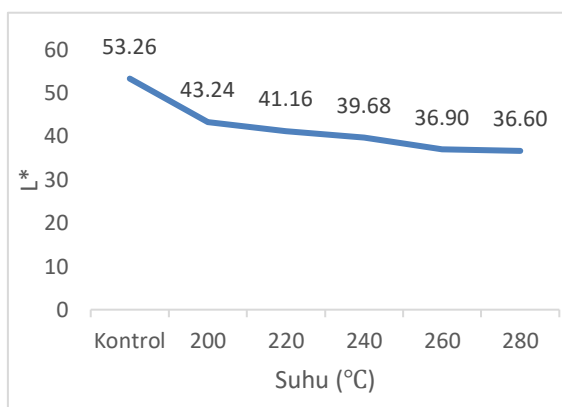
WL = Penurunan berat (%)
 M1 = Bobot awal sebelum torefaksi (g)
 M2 = Bobot setelah torefaksi (g)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Secara visual perubahan warna pada pelet kaliandra setelah dilakukan torefaksi dapat dilihat pada (Gambar 1). Pelet kaliandra yang telah tertorefaksi secara visual mengalami perubahan warna menjadi lebih gelap seiring dengan meningkatnya suhu (Gambar 1). Menurut Suslistio *et al* (2020), warna pelet akan berubah dari cerah menjadi kehitaman saat setelah ditorefaksi. Hal tersebut dapat dilihat pula pada hasil pengukuran nilai kecerahan (L^*) yang menunjukkan penurunan di setiap penambahan suhu (Gambar 2).



Gambar 1. Perubahan visual pelet kaliandra setelah torefaksi pada berbagai perlakuan suhu.

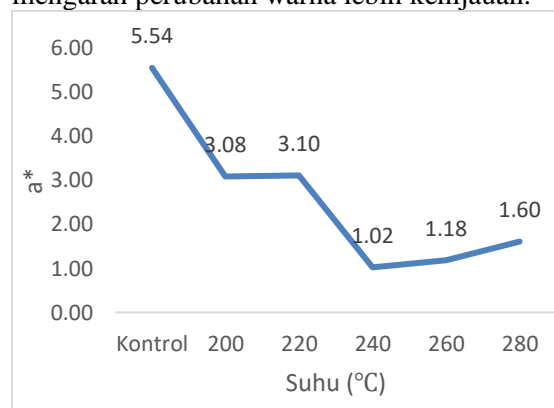


Gambar 2. Perubahan nilai L^* pada pelet kaliandra.

Nilai L^* pelet kaliandra sebelum dilakukan

torefaksi yaitu 53,26 dan nilai L^* setelah dilakukan torefaksi pada suhu 200°C menjadi 43,24; suhu 220°C menjadi 41,16; suhu 240°C menjadi 39,68; suhu 260°C menjadi 36,90; dan suhu 280°C menjadi 36,60 (Gambar 2). Menurut Hidayat *et al.*, (2017) menyatakan bahwa perubahan kecerahan (ΔL^*) merupakan parameter terpenting yang mempengaruhi perubahan warna. Penurunan nilai L^* terkait dengan degradasi hemiselulosa selama perlakuan panas. Torefaksi melibatkan sejumlah peristiwa, termasuk penguraian senyawa hemiselulosa yang terikat pada material permukaan padat, yang menyebabkan terjadi perubahan warna pelet menjadi lebih gelap. (Rani *et al.*, 2020).

Perubahan kromatisasi merah-hijau (a^*) pada pelet kaliandra menunjukkan penurunan pada suhu 200°C , selanjutnya meningkat sedikit pada suhu 220°C , kemudian menurun kembali di suhu 240°C , dan terus meningkat di suhu 260°C maupun 280°C (Gambar 3). Proses pemanasan menyebabkan terjadinya degradasi zat ekstraktif yang juga mengandung komposisi warna akibat hilangnya kadar air sehingga menyebabkan perubahan warna (Krisdianto *et al.*, 2018). Hasil evaluasi nilai a^* menunjukkan hasil yang positif. Nilai positif mengarah pada perubahan warna yang dihasilkan setelah proses torefaksi yaitu cenderung lebih kemerahan dan nilai negatif mengarah perubahan warna lebih kehijauan.

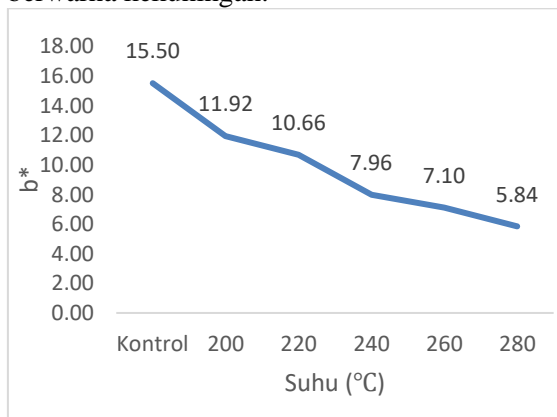


Gambar 3. Perubahan nilai a^* pada pelet kaliandra.

Perubahan kromatisasi kuning-biru (b^*) memiliki kesamaan dengan perubahan nilai kecerahan (L^*) yaitu nilai yang menurun seiring dengan kenaikan suhu torefaksi (Gambar 4). Nilai awal kromatisasi kuning/biru pada pelet

kaliandra sebelum ditorefaksi yaitu 15.50. Nilai setelah ditorefaksi pada suhu 200°C yaitu 11.92 dan terus menurun hingga nilai 5.84 pada suhu 280°C.

Hasil evaluasi nilai b^* menunjukkan hasil yang positif. Nilai yang positif mengarah perubahan warna yang dihasilkan setelah torefaksi cenderung lebih kekuningan dan nilai negatif mengarah perubahan warna lebih kebiruan. Hasil penelitian pada pelet kaliandra bernilai positif semua, sehingga dapat dikatakan perubahan nilai b^* cenderung berwarna kekuningan.



Gambar 4. Perubahan nilai b^* pada pelet kaliandra.

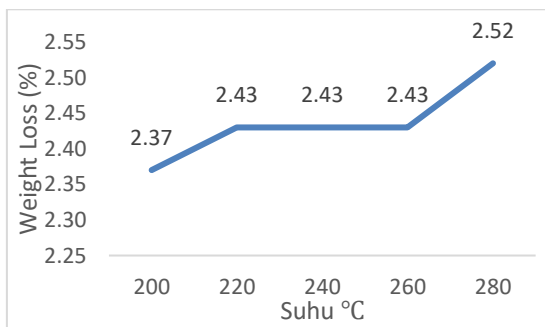
Perubahan warna keseluruhan (ΔE^*) meningkat dengan meningkatnya suhu (Tabel 2). Perubahan dapat dilihat pada penurunan nilai kecerahan (ΔL^*) atau warna sampel yang semakin gelap (Hidayat *et al.*, 2017). Perubahan warna secara total terjadi pada suhu 220°C, 240°C, 260°C, dan 280°C ditandai dengan nilai $\Delta E^* > 12$ (Tabel 2). Sementara itu untuk suhu 200°C terjadi perubahan warna sangat besar ditandai dengan $6 < \Delta E^* \leq 12$ (Tabel 2). Hidayat *et al.* (2015) menyatakan bahwa suhu antara 180 –200°C berpengaruh nyata terhadap perubahan warna selama perlakuan pemanasan.

Tabel 2. Perubahan warna keseluruhan (ΔE^*) pada pelet kaliandra setelah torefaksi pada berbagai perlakuan suhu.

Suhu (°C)	Parameter Warna					
	L^*	a^*	b^*	ΔE^*	$\Delta E^* Level$	
200	43.24 (0.61)	3.08 (0.76)	11.92 (0.64)	10.94 (0.89)		Perubahan warna sangat besar
220	41.16 (0.78)	3.10 (1.01)	10.66 (0.62)	12.88 (0.84)		Warna berubah total
240	39.68 (0.68)	1.02 (1.25)	7.96 (1.05)	16.25 (0.28)		Warna berubah total
260	36.90 (0.37)	1.18 (0.53)	7.10 (0.46)	18.91 (0.41)		Warna berubah total
280	36.60 (0.39)	1.60 (0.35)	5.84 (0.58)	19.66 (0.57)		Warna berubah total

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan berat dipengaruhi oleh perlakuan panas. Hasil evaluasi berat menunjukkan penurunan nilai secara linier dengan meningkatnya suhu perlakuan (Tabel 3). Hal tersebut dikarenakan selama perlakuan panas, zat ekstraktif yang terdapat dalam kayu cepat terdegradasi dan menguap dari kayu ketika proses perlakuan panas berlangsung (Hidayat *et al.*, 2018).

Persentase penurunan berat pada pelet kaliandra setelah perlakuan panas pada suhu 200°C-280°C dapat dikategorikan rendah, dengan nilai di bawah 3% (Gambar 5). Kehilangan berat merupakan parameter penting untuk menentukan tingkat dekomposisi termal selama perlakuan panas (Hidayat *et al.*, 2018). Setelah perlakuan panas pada suhu lebih dari 160°C, zat ekstraktif, hemiselulosa, dan komponen kecil molekul selulosa semuanya terdegradasi, yang mengakibatkan penurunan berat dan penyusutan volume. Dengan kata lain, setelah perlakuan panas, komponen kimia utama sel kayu berubah jumlah dan ukurannya, dan berkontribusi terhadap penyusutan ukuran dan penurunan berat. (Hidayat *et al.*, 2018).



Gambar 5. Penurunan berat pelet kaliandra berdasarkan variasi suhu.

KESIMPULAN

Pengaruh suhu terhadap perubahan warna dan karakteristik pelet kaliandra yaitu semakin meningkat suhu yang digunakan saat melakukan torefaksi, maka pelet akan berubah warna menjadi lebih gelap dan warna sudah berubah total dari warna awal sebagai akibat dari reaksi pemecahan produk hemiselulosa yang dihasilkan oleh materi selama proses torefaksi. Dengan naiknya suhu, karakteristik pelet kaliandra juga bisa berubah. Pelet mengalami penurunan berat, akibat kadar air dan zat lain yang terkandung di dalam pelet terdegradasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulah, L. (2019). The growth and yield of *Calliandra calothyrsus* trees as biomass-based energy feedstock. *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 308(1), p. 012078.
- Anggraini, W. (2018). Keanekaragaman hayati dalam menunjang perekonomian masyarakat Kabupaten Oku Timur. *Jurnal Aktual*, 16(2), 99-106.
- Bergman, P. C., Boersma, A. R., Kiel, J. H., Prins, M. J., Ptasinski, K. J., Janssen, F. J. G. (2005). Torrefaction for entrained-flow gasification of biomass. *In 2nd World Conf. Technol. Exhib. Biomass Energy, Ind. Clim. Prot* (pp. 78-82).
- Dhungana, A. (2011). Torrefaction of Biomass. *Thesis*. Dalhousie University Halifax, Nova Scotia Canada.
- Haryanto, A., Hidayat, W., Hasanudin, U., Iryani, D. A., Kim, S., Lee, S., and Yoo, J. (2021). Valorization of Indonesian Wood Wastes through Pyrolysis: A Review. *Energies*, 14(5): 1407.
- Hendarto, K. A., Syamsuwida, D., Yuniarti, N., Siregar, N. W., Aminah, A., Nugraheni, Y. M. M. A., Hidayat, A. R. (2020). Farmers' economic perceptions of demonstration plot development of kaliandra (*Calliandra calothyrsus* Meisner) biomass energy at Parungpanjang research forest: findings from a focus group discussion. *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 415(1), p. 012013.
- Herwanti, S., Wulandari, C., Kaskoyo, H., Hidayat, W., Novasari, D., Mulyana, L., Puspita, N. T., Kurniansyah, M. A., Nandini, K. W., Nurindarwati, R. (2022). Peningkatan Kapasitas Masyarakat sekitar Taman Hutan Raya Wan Abdul Rachman dalam Memasarkan Produk Hasil Hutan Bukan Kayu. *Jurnal Pengabdian Fakultas Pertanian Universitas Lampung*, 1(1): 58–70.
- Hidayat, W., Qi, Y., Jang, J., Park, B., Banuwa, I. S., Febrianto, F., Kim, N. (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.
- Hidayat, W., Febrianto, F., Purusatama, B. D., Kim, N. (2018). Effects of heat treatment on the color change and dimensional stability of *Gmelina arborea* and *Melia azedarach* woods. *E3S Web of Conferences*, 68, 03010.
- Hidayat, W., Rani, I. T., Yulianto, T., Febryano, I. G., Iryani, D. A., Hasanudin, U., Lee, S., Kim, S., Yoo, J., 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, W., Rubiyanti, T., Sulistio, Y., Iryani, D. A., Haryanto, A., Amrul, Yoo, J., Kim, S., Lee, S., Hasanudin, U. (2021). Effects of Torrefaction Using COMB Dryer/Pyrolizer on the Properties of Rubberwood (*Hevea brasiliensis*) and Jabon (*Anthocephalus cadamba*) Pellets. in: *Proceedings of the International Conference on Sustainable*

- Biomass (ICSB 2019)*, Bandar Lampung, Indonesia
- Hidayat, W., Haryanto, A., Ibrahim, G. A., Hasanudin, U., Prayoga, S., Saputra, B., Rahman, A. F., Tambunan, K. G. A. (2022a). Pemanfaatan Limbah Biomassa Jagung untuk Produksi Biochar di Desa Bangunsari, Pesawaran. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat (JPKM) Tabikpun*, 3(1): 45–52.
- Hidayat, W., Pah, J. M., Suryanegara, L., Hasanudin, U., Haryanto, A., and Wulandari, C. (2022b). Production and Characterization of Andong Bamboo (*Gigantochloa pseudoarundinacea* (Steudel) Widjaja) Pellets from Various Stem Parts. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, 11(4): 713–723.
- Iryani, D. A., Haryanto, A., Hidayat, W., Amrul, Talambanua, M., Hasanudin, U., Lee, S. (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*, 212–217.
- Krisdianto, K., Satiti, E.R., Supriadi, A. (2018). Perubahan warna dan lapisan finishing lima jenis kayu akibat pencucian. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 36(3), 205–210.
- Kusmana, C., Hikmat, A. (2015). The Biodiversity of Flora in Indonesia. *Journal of Natural Resources and Environmental Management*, 5(2):187–198.
- Mayangsari, A., Indriyanto, Bintoro, A., Surnayanti (2019). Identifikasi Jenis Tumbuhan Obat di Areal Garapan Petani KPPH Talang Mulya Tahura Wan Abdul Rachman (Identification of Medicinal Plants in The Area of KPPH Farmer at Talang Mulya on Wan Abdul Rachman Great Forest Park). *Jurnal Sylva Lestari*, 7(1), 1-9.
- Nabila, R., Hidayat, W., Haryanto, A., Hasanudin, U., Iryani, D.A., Lee, S., Kim, S., Kim, S., Chun, D., Choi, H., Im, H., Lim, J., Kim, K., Jun, D., Moon, J., Yoo, J. (2023). Oil palm biomass in Indonesia: Thermochemical upgrading and its utilization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 176: 113193.
- 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)*, 185–189.
- 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 Lampung*, 9(1): 63–70.
- Ridjayanti, S. M., Hidayat, W., Bazenet, R. A., Banuwa, I. S., and Riniarti, M. (2021). Pengaruh Variasi Kadar Perekat Tapioka terhadap Karakteristik Briket Arang Limbah Kayu Sengon (*Falcataria moluccana*). *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.
- Saputra, B., Tambunan, K. G. A., Suri, I. F., Febryano, I. G., Iswandaru, D., Hidayat, W. (2022). Effects of Torrefaction Temperature on the Characteristics of Betung (*Dendrocalamus asper*) Bamboo Pellets. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, 11(2), 339-353.
- Sulistio, Y., Febryano, I. G., Yoo, J., Kim, S., Lee, S., Hasanudin, U., 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.
- Yulianto, T., Febryano, I. G., Iryani, D. A., Haryanto, A., Hasanudin, U., Hidayat, W. (2020). Perubahan Sifat Fisis Pelet Tandan Kosong Kelapa Sawit Hasil Torefaksi. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, 9(2): 104–111.