

Produksi *biocoal* berbahan dasar tandan kosong kelapa sawit sebagai bahan bakar alternatif pada pembangkit listrik tenaga uap dengan metode torefaksi pada temperatur 200°C

Awaludin Martin, Yogie Rinaldy Ginting, Iwan Kurniawan, Andika, Dhiki R. A.

Laboratorium Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Bina Widya, Panam KM 12,5, Pekanbaru, 28293
Email korespondensi: awaludinmartin01@gmail.com

Abstrak

Pembangkit Listrik Tenaga Uap Batubara (PLTU) merupakan salah satu industri yang menggunakan energi fosil sebagai bahan bakar utama, sehingga menyebabkan cadangan energi fosil semakin berkurang, untuk itu diperlukan peralihan penggunaan energi fosil menjadi energi baru dan terbarukan. Untuk mencapai target bauran energi tersebut, Pemerintah Indonesia melalui Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral telah mengeluarkan regulasi untuk meningkatkan penggunaan energi baru dan terbarukan melalui metode *co-firing* untuk pembangkit listrik tenaga uap dengan memanfaatkan biomassa sebagai campuran batu bara. Namun, biomassa dari tandan buah kosong memiliki beberapa kelemahan sebagai bahan bakar dan salah satu kelemahan dari tandan buah kosong adalah memiliki nilai kalor yang rendah. Metode torefaksi pada suhu 200°C merupakan metode yang digunakan untuk meningkatkan nilai kalor biomassa dari tandan buah kosong. Pada kajian sebelumnya dengan menggunakan metode torrefaction pada suhu 200°C selama 30 menit, diperoleh *biocoal* dengan mass yield dan energy yield tertinggi 78% dan 96,11% dengan nilai kalor 4799,27 kkal/kg, di mana nilai kalor tersebut setara dengan nilai kalor batu bara. Kajian ini merupakan kelanjutan dari penelitian sebelumnya, di mana pada penelitian sebelumnya, berat sampel tandan kosong hanya 100 g, pada kajian ini berat sampel divariasikan hingga 1.000 g dengan metode torefaksi yang sama yaitu dengan suhu 200°C dan waktu proses torefaksi 30 menit menggunakan reaktor fixed bed. Hasil dari kajian ini adalah *biocoal* dengan nilai kalori bahan bakar tertinggi sebesar 6.253 kkal/kg dengan variasi massa 1.000 g.

Kata kunci: *biocoal*, tandan kosong sawit, nilai kalor, metode torefaksi.

Abstract

Coal fired steam power plants (CFSP) are one of the industries that use fossil energy as a main fuel, causing fossil energy reserves are decreasing, for that the switchover of using fossil energy into new and renewable energy is necessary. To achieve the energy mix target, Indonesian Government through to Ministry of Energy and Mineral Resources was have the regulation to increasing the use of new and renewable energy through the *co-firing* method for steam power plants by utilizing biomass as a coal mixture. However, biomass from empty fruit bunches has several weaknesses as fuel and one of the weakness of empty fruit bunch is have a low heating value. Torrefaction method at 200°C is a method was use to increasing the heating value of biomass from empty fruit bunches. In previous research using the torrefaction method at a temperature of 200°C for 30 minutes obtained bio-coal with the highest mass yield and energy yield 78% and 96.11% with a heating value 4799.27 kcal/kg where the heating value is equivalent to the heating value of coal. This research is a continuation of previous research, where in the previous study the weight of sample of empty fruit bunch was only 1000 g, in this study the sample weight was varied up to 100 g with the same torrefaction method, namely with a temperature of 200°C and a torrefaction process time of 30 minutes using fixed bed reactor. The result of this research is bio-coal with the highest calorific value of fuel at 6,253 kcal/kg with a mass variation of 1000 g.

Keywords: *biocoal*, empty fruit bunch, heating value, torrefaction method.

1. Pendahuluan

Realisasi penggunaan energi pada tahun 2018 masih didominasi oleh penggunaan energi fosil yaitu minyak bumi sebesar 39,7%, batu bara 33,2% dan gas bumi 19,6%, sementara penggunaan energi baru terbarukan hanya 8,5%. Peningkatan penggunaan energi baru terbarukan terus dilakukan, ini dapat dilihat pada target komposisi penggunaan energi nasional bahwa pada tahun 2025 ditargetkan

penggunaan energi baru dan terbarukan mencapai 23% dan pada tahun 2050 mencapai 31% [1].

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral terus berupaya untuk meningkatkan pemanfaatan energi baru terbarukan melalui metode *co-firing* pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dengan memanfaatkan biomassa sebagai substitusi (campuran) batu bara sebagai upaya mempercepat bauran penggunaan energi baru dan terbarukan [2].

Besarnya kebutuhan biomassa yang dibutuhkan sebagai bahan baku campuran untuk metode *co-firing* pada PLTU tersebut dapat dipenuhi dari beberapa sumber biomassa seperti ampas tebu, sekam padi, limbah/sampah kota, limbah kelapa sawit dan lain-lain [2].

Limbah padat kelapa sawit merupakan limbah yang memiliki potensi terbesar dalam penggunaan biomassa sebagai bahan bakar campuran untuk PLTU [3]. Limbah padat kelapa sawit yang dapat digunakan sebagai sumber bahan baku biomassa adalah cangkang sawit, serabut sawit, dan tandan kosong sawit, di mana tandan kosong sawit (TKS) adalah limbah padat dengan proporsi terbesar dari limbah padat sawit dengan proporsi sekitar 22% dari Tandan Buah Segar (TBS) yang diolah [4]. Namun nilai kalor pembakaran (HHV) dari tandan kosong kelapa sawit sebesar 4.197 kkal/kg [5].

Kajian produksi *biocoal* berbahan dasar tandan kosong kelapa sawit telah dilakukan dengan berat 100 gram dan didapatkan bahwa proses yang paling optimum adalah pada suhu torefaksi 200°C dengan waktu proses 30 menit, di mana *mass yield* dan *energy yield* yakni 78% dan 96,11%, dan nilai kalor pembakaran sebesar 20.080,15 kJ/kg [6].

Kajian ini bertujuan memproduksi *biocoal* berbahan dasar tandan kosong kelapa sawit dengan kapasitas yang lebih besar dengan metode torefaksi yang sama dengan kajian sebelumnya yaitu 250, 500, dan 1.000 gram.

2. Metode

Tandan Kosong Kelapa Sawit

Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) seperti terlihat pada Gambar 1, merupakan salah satu jenis limbah yang paling banyak dihasilkan dari pabrik kelapa sawit [4]. Limbah TKKS mencapai 22% dari berat tandan buah segar (TBS) dan merupakan limbah padat dengan persentase terbesar, sehingga memiliki potensi sebagai sumber energi yang cukup besar [7].



Gambar 1. Tandan kosong kelapa sawit.

Air Gambut

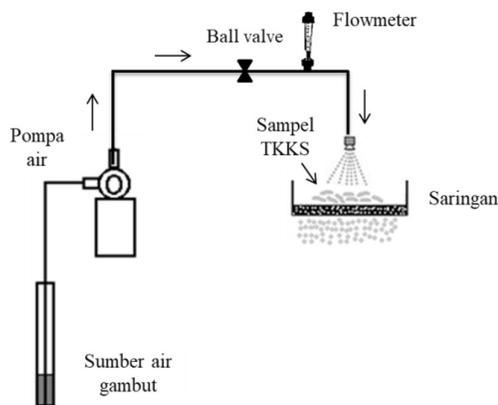
Air gambut merupakan air permukaan yang berasal dari daerah dengan kondisi tanah bergambut. Air gambut memiliki ciri-ciri intensitas warna yang tinggi, tingkat keasaman rendah dan kandungan zat organik yang tinggi. Warna air gambut yang cokelat hingga hitam diakibatkan dari tingginya kandungan

zat organik (bahan humus) terlarut dalam bentuk asam humus dan turunannya.

Asam humus tersebut berasal dari dekomposisi bahan organik seperti daun, pohon, atau kayu dengan berbagai tingkat dekomposisi [8]. Kadar pH air gambut yang rendah disebabkan oleh asam fulvat dan asam humat. Asam humat (HAs) adalah molekul biopolimer tinggi, umumnya diperoleh dari senyawa humik organik yang tersebar di tanah, gambut dan sapropel, perairan alami, di mana zat ini dapat melarutkan mineral [9].

Experiment Preparation

Pencucian sampel tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dilakukan di Meranti Darat, Kecamatan Dumai Barat, Kota Dumai. Kadar pH air gambut yang digunakan pada proses pencucian adalah 3,1. Tandan kosong kelapa sawit yang sebelumnya telah dipotong menjadi ukuran 5 mm, dicuci menggunakan air gambut untuk mengurangi kadar abu, di mana skema proses pencuciannya dapat dilihat pada Gambar 2. Pencucian dilakukan pada laju aliran air 10, 20, 30, 40, 50 liter per menit (LPM) selama 60 menit. Sampel TKKS yang akan dicuci, ditimbang terlebih dahulu sebanyak 250, 500, dan 1.000 g. Setelah dilakukan proses pencucian, TKKS dimasukkan ke dalam plastik yang telah disediakan dan ditimbang. Selanjutnya, tandan kosong kelapa sawit akan dikeringkan menggunakan oven.



Gambar 2. Proses pencucian tandan kosong kelapa sawit.

Metode Pengeringan

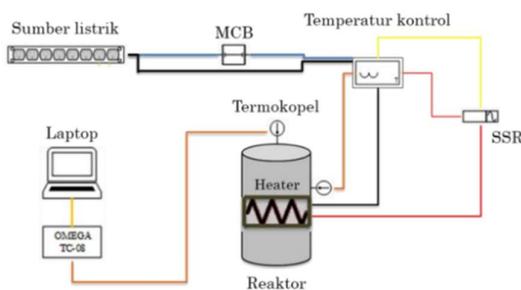
Proses pengeringan TKKS yang telah dicuci menggunakan air gambut dengan menggunakan oven listrik seperti terlihat pada Gambar 3. Pengeringan menggunakan oven listrik bertujuan untuk mengurangi kadar air dari TKKS sebesar 10-30%. Pengeringan sampel TKKS dengan berat 250, 500, 1.000 gram masing-masing dilakukan selama 2, 3, dan 5 jam pada suhu 105°C.



Gambar 3. Proses pengeringan dengan menggunakan oven.

Metode Torefaksi

Torefaksi adalah pirolisis ringan yang biasanya dilakukan pada suhu 200-300°C, proses ini akan menghilangkan kadar air dalam sampel biomassa dan mengubah komposisi lignoselulosa. Perlakuan torefaksi pada banyak spesies menunjukkan peningkatan signifikan dari kualitas biomassa seperti bahan volatil yang rendah, kandungan karbon yang tinggi, dan nilai kalor yang tinggi [10]. Kualitas produk torefaksi sangat ditentukan oleh karakteristik biomassa, suhu, dan lamanya proses torefaksi. Skema pengujian torefaksi ditampilkan pada Gambar 4 [11, 12].



Gambar 4. Skema torefaksi tipe fixed bed.

Proses torefaksi pada kajian ini dilakukan pada suhu 200°C selama 30 menit. Proses ini dilakukan di Laboratorium Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Riau. Proses torefaksi ini menggunakan tabung reaktor yang terbuat dari besi tahan karat (*stainless steel*) dan *band heater ceramic* untuk memanaskan sampel TKKS. Prosedur pengujian sampel TKKS pada proses torefaksi adalah sebagai berikut:

- Seluruh alat uji torefaksi diinstalasi, kemudian komponen dan alat ukur dipastikan berfungsi dengan baik.
- *Job sheet* dipersiapkan.
- Tandan kosong kelapa sawit yang telah dikeringkan menggunakan oven dimasukkan ke dalam reaktor.
- Reaktor ditutup menggunakan kunci pas.
- *Heater* dinyalakan, tingkat pemanasan pada *temperature controller* diatur 200°C.

- Setelah mencapai suhu proses 200°C, sampel ditorefaksi selama 30 menit.
- Setelah selesai, *heater* dimatikan.
- Reaktor dibiarkan dingin sampai suhu lingkungan, setelah itu sampel diambil.
- Sampel yang telah ditorefaksi disimpan di dalam wadah yang kedap udara dan ditimbang.

Pengumpulan Data

Nilai kalor adalah standar kualitas utama dari bahan bakar, kandungan energi dari biomassa merupakan parameter penting sebelum suatu bahan bakar dipergunakan. Kandungan bahan bakar dari TKKS yang telah ditorefaksi akan diukur menggunakan *bomb calorimeter* [11].



Gambar 5. Bomb calorimeter.

Untuk menghitung nilai kalor pada sampel *biocoal* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 1 berikut.

$$q = \frac{(\varepsilon \times \theta) - Q_{fuse} - Q_{ign}}{mf} \quad (1)$$

Dengan q = Nilai kalor bahan bakar (kJ/kg), ε = Nilai untuk *bomb* (10.333,282 J), θ = Kenaikan suhu kalorimeter (°C), Q_{fuse} = Nilai kalor untuk benang katun (174,97 J), Q_{ign} = Nilai kalor untuk kawat nikrom (4,2066 J), mf = Massa sampel bahan bakar (g).

3. Hasil dan Pembahasan

Pada Tabel 1 ditampilkan hasil dari proses produksi *biocoal* mulai dari massa setelah pengeringan, massa setelah torefaksi, nilai kalor, *mass yield*, dan *energy yield*. Setelah dilakukan proses pengeringan menggunakan oven, berat dari sampel berkurang 27,6 %, 35,2 %, dan 29,5 % untuk masing-masing sampel 250, 500, dan 1.000 gram. Sampel *biocoal* yang telah ditorefaksi, kemudian diuji dengan *Bomb calorimeter*, di mana pengujian nilai kalor dilakukan di Laboratorium Konversi Energi, Universitas Riau.

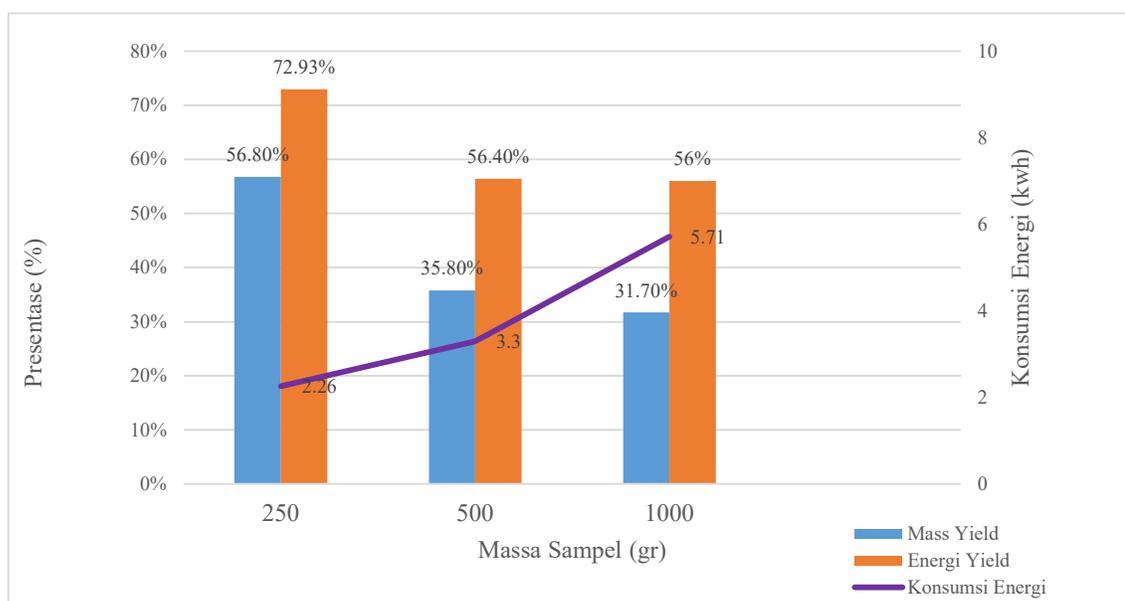
Pada sampel TKKS yang tidak ditorefaksi, nilai kalor yang didapat adalah 14.810 kJ/kg atau 3.537 kcal/kg.

Tabel 1. Hasil nilai kalor pada biocoal.

Sample	Massa Setelah Pengerangan	Massa Setelah Torefaksi	Nilai Kalor Bio-coal (kJ/kg)		
			Uji 1	Uji 2	Rata-Rata
250	181 gram	142 gram	18,896	19,136	19,016
500	324 gram	179 gram	23,460	23,221	23,340
1000	705 gram	317 gram	25,985	26,346	26,165

Pengujian nilai kalor dari *biocoal* dilakukan 2 kali dan didapatkan nilai kalor tertinggi pada variasi berat

sampel 1.000 gram yaitu sebesar 26.165 kJ/kg atau 6.249 kcal/kg dengan berat sisa 317 gram. Berdasarkan hasil tersebut diketahui bahwa proses torefaksi pada tandan kosong kelapa sawit sebagai bahan produksi *biocoal* dapat meningkatkan nilai kalor yang terkandung dalam sampel tersebut. Nilai kalor dipengaruhi oleh kandungan air dan kandungan zat-zat terbang dari tandan kosong kelapa sawit (TKKS) semakin menurun melalui pori-pori TKKS. Dengan semakin terbukanya pori-pori, maka massa yang hilang dari biomassa TKKS semakin besar.



Gambar 5. Grafik hasil konsumsi energi.

Pada Gambar 5, terlihat grafik perbandingan antara *mass yield*, *energy yield*, dan konsumsi energi dari proses produksi *biocoal* dari masing-masing sampel. Karakteristik yang paling penting dari produk torefaksi adalah nilai kalor, yang memberikan hasil energi (*energy yield*) dalam produk. Hasil energi menghubungkan hasil massa (*mass yield*) dengan nilai kalor biomassa sebelum dan sesudah torefaksi. Setelah dilakukan perhitungan, didapatkan hasil dari *mass yield* dan *energy yield* berbanding terbalik dengan massa sampel. *Mass yield* dan *energy yield* tertinggi terdapat pada massa sampel 250 gram yaitu sebesar 56,80% dan 72,93%. Konsumsi energi listrik yang digunakan pada proses produksi *biocoal* ini diukur dengan kWh meter yang dipasang pada alat pengerangan dan alat torefaksi dan konsumsi energi berbanding lurus dengan berat sampel seperti terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai konsumsi energi pada proses produksi *biocoal*.

Sample	Konsumsi Energi		
	Pengerangan	Torefaksi	Total
250	1,425 kwh	0,836 kwh	2.26 kwh
500	2,234 kwh	1,066 kwh	3.3 kwh
1000	3,77 kwh	1,947 kwh	5.71 kwh

Kebutuhan energi pada tiap proses berbeda, di mana semakin banyak sampel yang diproses, maka kebutuhan energinya juga semakin besar, hal tersebut terjadi karena dibutuhkan waktu yang lebih lama

untuk mengeringkan sampel dan mencapai suhu 200°C pada proses torefaksi.

Besar energi yang diberikan pada proses pengeringan dan proses torefaksi juga mempengaruhi nilai kalor sampel TKKS, seperti terlihat pada Tabel 1, di mana sampel dengan berat 1.000 gram memiliki nilai kalor yang lebih besar dibanding dengan berat sampel 500 dan 250 gram.

4. Kesimpulan

Kajian produksi *biocoal* berbahan dasar tandan kosong kelapa sawit telah dilakukan dan dari kajian ini didapatkan bahwa nilai kalor *biocoal* tertinggi yaitu 26.165 kJ/kg atau 6.249 kcal/kg pada berat sampel 1.000 gram dengan konsumsi energi sebesar 5,71 kWh, sedangkan untuk hasil *mass yield* dan *energy yield* tertinggi terdapat pada massa sampel 250 gram dengan nilai masing-masing 56,80% dan 72,93% dengan nilai kalor 19.016 kJ/kg atau 4.545 kcal/kg.

Ucapan Terima Kasih

Penulis sangat berterima kasih atas dukungan pendanaan yang diberikan oleh Universitas Riau melalui sumber dana DIPA LPPM Universitas Riau 2022 dengan Nomor Kontrak 1498/UN19.5.1.3/PT.01.03/2022.

Daftar Pustaka

- [1] F. X. Sutijastoto. 2020. Kebijakan dan strategi pengembangan biomassa untuk energi berkelanjutan. Kementerian energi dan sumber daya mineral republik indonesia.
- [2] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2020.
- [3] Y. W. P. Wiyoto, E. P. Budiana, and D. A. Himawanto. 2016, "Analisa thermogravimetry pada pirolisis limbah pertanian." Jurnal Teknik Mesin Indonesia, Vol. 11, No. 1, 25-30.
- [4] Verma, Munna, dkk. 2017, "Drying of biomass for utilising in co-firing with coal and its impact on environment A review." Renewable and Sustainable Energy Reviews. Vol 71, 732-741.
- [5] N. Yurisman and R. Arizona. 2022, "Dampak penambahan limbah biomassa cangkang kelapa sawit sebagai bahan bakar boiler terhadap heat rate dengan metode co-firing." Jurnal Teknik Mesin Indonesia, Vol.17, No. 2, 35-41.
- [6] A. Wijono. 2014. PLTU biomassa tandan kosong kelapa sawit studi kelayakandan dampak lingkungan. Balai Rekayasa Disain dan Sistem Teknologi.
- [7] A. Promraksa and N. Rakmak. 2021, Biochar production from palm oil mill residues and application of the biochar to adsorb carbon dioxide, Heliyon, Vol. 6, No. 5.
- [8] F. Febriyanti, N. Fadila, A.S. Sanjaya, Y. Bindar, A. Irawan. 2019, "Pemanfaatan limbah tandan kosong kelapa sawit menjadi bio-char, bio-oil dan gas dengan metode pirolisis". Jurnal Chemurgy, Vol. 3, No. 2, 12-17.
- [9] B.B. Nyakuma, A. Ahmad, A. Johari, T. Abdullah A.T., O. Oladokun. 2015, "Torrefaction of pelletized oil palm empty fruit bunches." JET (Journal of Technology), Vol. 5, No. 2, 88-92.
- [10] N. N. Kasim, K. Ismail, A. R. Mohamed, M. A. M. Ishak, R. Ahmad, W. I. Nawawi, & W. Ismail. 2018, Characteristic, thermochemical behaviors and kinetic of demineralized and torrefied empty fruit bunches (EFB)," ASTES: Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal, Vol. 3, No. 5, 365-373.
- [11] A. Martin, P.S. Utama, Y.R. Ginting, Monang Jansen Tampubolon, N. Khotimah, 2022, Peat Water and Torrefaction Method for Increasing the Quality of *Biocoal* from Empty Oil Palm Fruit Bunches as New and Renewable Energy Source, conference on Innovation In technology and Engineering Science, Padang, Sumatera Barat, 10-11 Agustus 2022.
- [12] W. Hidayat, I.T. Rani, T. Yulianto, I.G. Febryanto, D.A. Iryani, U. Hassanudin. 2020, "Peningkatan kualitas pelet tandan kosong kelapa sawit melalui torefaksi menggunakan reaktor Counter-Flow Multi Baffle (COMB)". Jurnal Rekayasa Proses, Vol. 14, No. 2, 169-181.
- [13] F. Ali, D. L. Lestari, and M. D. Putri. 2021, "State of the art: ozone plasma technology for water purification." Engineering Journal, Vol. 25, No. 1, 177-186.
- [14] Y. M. Said, Y. Achnopa, W. Zahar, Y.G. Wibowo. 2019. "Karakteristik fisika dan kimia air gambut kabupaten tanjung jabung barat, provinsi jambi". Jurnal Sains Dan Teknologi Lingkungan, Vol. 11, No. 2, 132-142.
- [15] S. U. M. Beladona, R. Putra, R. Alfanaar, M. M. Sylvani, E. Alyatikah, R. Safitri, I. Susanti, and R. M. Iqbal. 2022, "A review: development of photocatalyst materials and its performance for humic acid removal in peatwater." Journal of Peat Science and Innovation, vol. 1, no. 1, 1-15.
- [16] E. Sarlaki, A. S. Paghaleh, M. H. Kianmehr, and K. A. Vakilian. 2019, "Extraction and purification of humic acids from lignite wastes using alkaline treatment and membrane ultrafiltration." Journal of Cleaner Production, Vol. 235, 712-723.
- [17] A. A. A. Rahman, R. I. Ismail, A. R. Shaari, 2021. "Torrefaction temperature and holding time effect on khaya senegalensis biomass". Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences, Vol. 81, No. 1, 150-157.
- [18] A. Martin, P. S. Utama, Y. R. Ginting, N. Khotimah. 2022, "Improvement of biocoal quality from empty fruit bunches by using peat water to reducing potassium content and

- torrefaction at 300°C to increasing heating value”. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, Vol. 90, No. 2, 32-41.
- [19] Martin, A., Romy., Kurniawan, I., Tampubolon, M. N. 2021, “Pemanfaatan air gambut untuk meningkatkan kualitas produksi bio-coal dari limbah tandan kosong kelapa sawit dengan variasi waktu dan temperatur proses torefaksi.” *REKAYASA Journal of Science and Technology*, Vol. 14, No. 3, 450-455.
- [20] E. H. X. Lim, K. Y. Chong, M. K. Chok, C. H. Lock, Y. Y. Chong, S. T. Gopakumar, H. K. Ng, L. Y. Lee, and S. Gan. 2021, “Investigation of eggshell as catalyst on the torrefaction of empty fruit bunch.” *Materials Science for Energy Technologies*, Vol. 4, 189-201.
- [21] N. Abdullah, F. Sulaiman, and A. A. Safana, 2017. “Pyrolysis of torrefied oil palm wastes for better biochar.” *MJFAS: Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences*, Vol. 13, No. 2, 124-128.
- [22] M. A. Sukiran, W. M. A. W. Daud, F. Abnisa, A. Bakar Nasrin, A. A. Astimar, and S. K. Loh. 2021. “Individual torrefaction parameter enhances characteristics of torrefied empty fruit bunches.” *Biomass Conversion and Biorefinery*, Vol. 11, 461-472.
- [23] M. A. Sukiran, W. M. A. W. Daud, F. Abnisa, A. B. Nasrin, A. A. Astimar, and S. K. Loh, 2021. “A comprehensive study on torrefaction of empty fruit bunches: characterization of solid, liquid and gas products.” *Energy*, Vol. 230, 120877.
- [24] Amrul, H. Wardono, and N. D. Chandra. 2022, “Pengaruh variasi ukuran partikel terhadap profil suhu pada pembakaran batu bara subbituminous dengan menggunakan pulverized burner.” *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, Vol. 17, No. 1, 97-100.