

Characteristics of Agricultural Residues Torrefaction Using a Tubular Type Continuous Reactor

Amrul*, Ivan Wijaya, dan Amrizal

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung

*Corresponding author: amrul@eng.unila.ac.id

Abstract. Indonesia is famous for its agricultural products, such as palm oil (CPO), coffee and cassava. These three products have relatively high production rates in Indonesia and also produce abundant of solid waste in the form of empty fruit bunches (EFB), coffee husks and cassava peels. This agricultural residue has good potential to be used as high-calorie fuel through torrefaction. EFB, coffee husk and cassava peel torrefied at 275° C and 30 minutes using a tubular type continuous reactor, under an inert atmosphere. The characterization of torrefaction products, especially solids and gases, was obtained. The potential utilization of torrefaction gas for energy sources in reactors is also discussed in this study. The heating value of solid products is 21.2 MJ/kg for EFB, 19.7 MJ/kg for coffee husks, and 14.5 MJ/kg for cassava peels. Utilization of torrefaction gases of EFB, coffee husks and cassava peel can save heat consumption about 3.83, 4.94 and 5.88%, respectively.

Abstrak. Indonesia dikenal dengan produk-produk perkebunannya, di antaranya adalah minyak kelapa sawit (CPO), kopi, dan singkong. Tiga produk ini mempunyai kapasitas produksi yang cukup besar dan menghasilkan limbah padat berupa tandan kosong sawit, kulit kopi dan kulit singkong. Limbah ini merupakan material biomassa yang berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan bakar. Melalui proses torefaksi, limbah perkebunan ini dapat dikonversi menjadi bahan bakar padat bernilai kalor tinggi, sebagai bahan bakar alternatif pengganti batu bara. Torefaksi merupakan proses perlakuan termal terhadap material biomassa pada rentang temperatur 200-300°C tanpa oksigen. Gas yang dihasilkan dari proses torefaksi dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar untuk mengurangi kebutuhan panas eksternal reaktor. Torefaksi pada temperatur 275°C selama 30 menit menggunakan reaktor kontinu tipe tubular terhadap ketiga jenis limbah biomassa ini menghasilkan produk utama berupa arang dan gas. Karakterisasi produk torefaksi dan potensi pemanfaatan gas torefaksi untuk sumber energi reaktor menjadi bahasan utama dalam penelitian ini. Arang yang dihasilkan dari proses torefaksi limbah perkebunan ini mempunyai nilai kalor sebesar 21,2 MJ/kg (tandan kosong sawit), 19,7 MJ/kg (kulit kopi), dan 14,5 MJ/kg (kulit singkong). Pemanfaatan gas torefaksi sebagai sumber panas reaktor pada proses torefaksi tandan kosong sawit, kulit kopi dan kulit singkong berpotensi menghemat kebutuhan energi panas total sebesar 3,83, 4,94, dan 5,88% secara berturut-turut.

Kata kunci: limbah hasil perkebunan, torefaksi, bahan bakar, gas torefaksi.

© 2019. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Bahan bakar fosil saat ini masih menjadi sumber energi primer yang paling banyak digunakan. Namun karena lambatnya proses pembentukannya, penggunaan bahan bakar ini semakin dikurangi dan beberapa usaha untuk memanfaatkan energi-energi terbarukan telah dikembangkan. Biomassa adalah salah satu sumber energi terbarukan yang lebih menjanjikan dibandingkan energi terbarukan lain karena ketersediaannya yang sangat melimpah dan proses pengolahannya yang umumnya lebih mudah dan murah. Indonesia saat ini menduduki posisi sebagai pensuplai minyak kelapa sawit terbesar di dunia, dengan produksi tahunan rata-rata sebesar 37,8 ton atau sekitar 56,6 % suplai minyak kelapa sawit dunia [1]. Selain minyak kelapa sawit, kopi

dan singkong adalah beberapa produk lain yang terkenal dalam perkebunan Indonesia.

Pemanfaatan bahan biomassa mentah kurang diminati karena beberapa kekurangan seperti tingginya energi untuk pengumpulan dan pengolahan, komposisi yang tidak seragam, sifatnya yang higroskopis atau menyerap cairan di udara, serta nilai kalor yang rendah. Diantara metode-metode pengolahan biomassa yang ada, torefaksi adalah metode yang dapat mengatasi semua kekurangan dari biomassa mentah tersebut. Torefaksi sendiri adalah proses pemanasan biomassa dalam kondisi inert pada rentang temperatur 200 – 300°C dan menahannya selama waktu tertentu [2]. Dari definisinya kita ketahui bahwa proses torefaksi membutuhkan energi untuk

proses pemanasannya, yang pada umumnya membutuhkan sumber panas eksternal.

Untuk mengurangi kebutuhan energi eksternal tersebut, salah satu metode yang digunakan adalah memanfaatkan gas torefaksi (torgas), yang merupakan gas-gas mampu bakar seperti CO, H₂ and CH₄, untuk mengurangi kebutuhan energi proses pemanasan [3].

Karakteristik produk torefaksi serta kandungan energi gas torefaksi ketiga bahan biomassa Indonesia dan potensi pemanfaatannya pada kebutuhan energi pemanasan, yang merupakan perbandingan kandungan kalor gas torefaksi dengan kebutuhan energi yang dibutuhkan pada proses pemanasan, adalah beberapa hal yang diamati pada penelitian ini.

Metode Penelitian

Sampel Biomassa. Limbah biomassa yang digunakan dalam penelitian ini mencakup tandan kosong kelapa sawit yang diperoleh dari pabrik pengolahan minyak kelapa di Pringsewu, Lampung, limbah kulit kopi yang diperoleh dari tempat pengolahan kopi di Tulangbawang, Lampung dan limbah kulit singkong yang diperoleh dari kedai kripik singkong di Bandarlampung, Lampung. Ketiga sampel ini dipilih karena kapasitas produksinya yg cukup besar di lampung

Prosedur Penelitian. Ketiga limbah biomassa diterima pada kondisi basah dan diberikan beberapa perlakuan awal sebelum memasuki reaktor, seperti pengeringan manual dibawah sinar matahari selama dua hari dan pencacahan. Proses torefaksi dilakukan pada kondisi temperatur 275°C selama 30 menit menggunakan reaktor kontinu tipe tubular, dengan skema seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 1.

Analisis. Energi pemanasan bersumber dari gas LPG. Jumlah kalor yang diperlukan pada proses pemanasan (Q_{in}) tiap sampel diperoleh dengan cara mengukur massa gas LPG yang berkurang sebelum dan setelah proses torefaksi (mg), dan kemudian mengalikannya dengan nilai LHV gas LPG seperti yang ditunjukkan oleh Persamaan (1).

$$Q_{in} = m_g \times LHV \quad (1)$$

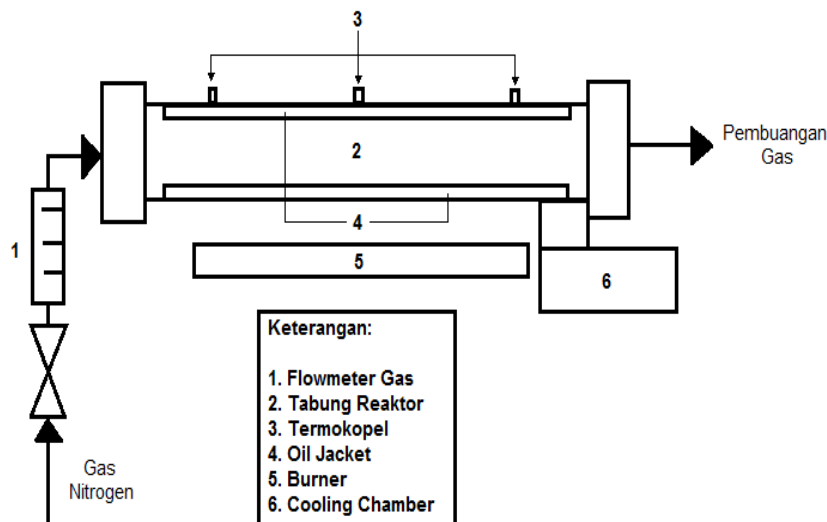
Ketiga limbah biomassa yang digunakan, baik yang mentah ataupun produk torefaksinya, dianalisis komposisi karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen dan sulfurnya menggunakan analisis ultimat, dan kandungan air, bahan volatil, karbon tetap dan abu dengan analisis proksimat. Sedangkan untuk kandungan komposisi produk gas, data diperoleh melalui studi literatur karena keterbatasan akses pada analisis yang diperlukan.

Dari hasil analisis yang diperoleh, nilai HHV produk padat dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan (2). Dan dengan kandungan cairan dari analisis proksimat, nilai LHV juga dapat ditentukan menggunakan Persamaan (3). LHV digunakan karena lebih realistis dibandingkan HHV karena LHV tidak menghitung nilai kalor laten dari uap air.

$$HHV = 349.1C + 1178.3H + 100.5S - 103.4O - 15.1N - 21.1ASH \quad (2)$$

$$LHV = HHV - h_g \left(\frac{9H-M}{100} \right) \quad (3)$$

Dimana C, H, O, N, S, ASH dan M adalah persentase kandungan dari karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen, sulfur, abu dan cairan secara berturut-turut, sedangkan hg adalah nilai kalor laten dari uap air.



Gambar 1. Diagram skematis reaktor torefaksi

Sampel	Mentah	Torefaksi pada 275 °C
TKKS		
Kulit Singkong		
Kulit Kopi		

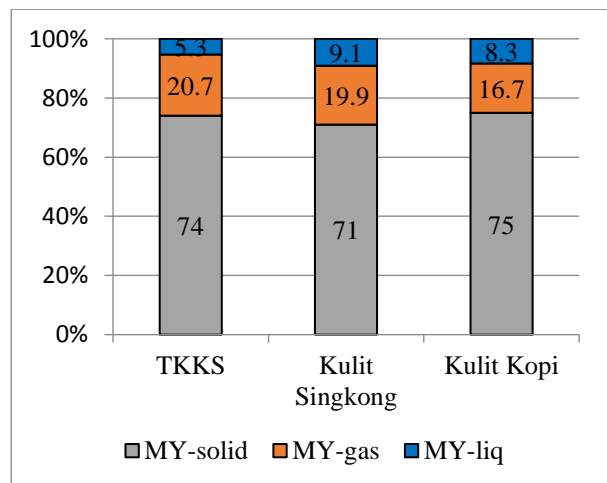
Gambar 2. Foto bahan mentah dan hasil torefaksi ketiga limbah biomassa.

Untuk produk gas, dengan komposisi yang diketahui, nilai kalornya dapat ditentukan dengan mengalikan persentase massa dari tiap komponen gas dengan nilai kalornya masing-masing.

Hasil dan Pembahasan

Tampilan Produk Torefaksi. Tiga jenis limbah biomassa digunakan pada penelitian ini Gambar 2 menunjukkan foto dari semua sampel biomassa yang digunakan, baik yang mentah dan hasil ditorefaksi. Semua sampel limbah biomassa mentah mengalami perubahan warna menjadi lebih gelap setelah proses torefaksi. Hal ini terjadi karena torefaksi yang dilakukan pada temperatur 275 °C, temperatur yang cukup untuk memberikan dekomposisi mayor pada hemiselulosa, sehingga kandungan karbon dalam biomassa meningkat [3].

Mass Yield. *Mass yield* (MY) atau rendemen massa produk torefaksi diperoleh dengan membandingkan massa produk setelah torefaksi dengan massa bahan mentahnya. Hasil rendemen massa produk torefaksi yang diperoleh pada penelitian ini ditunjukkan oleh Gambar 3.



Gambar 3. Rendemen massa produk torefaksi ketiga limbah biomassa

Berbeda dengan MY produk padat yang diperoleh dengan cara membandingkan massa biomassa setelah dan sebelum torefaksi, MY produk cair ditentukan dari penurunan persentase dari kandungan cairan yang dialami biomassa setelah torefaksi, dan MY produk gas diasumsikan sebagai persentase yang tersisa.

Nilai Kalor. Hasil analisis proksimat dan ultimat produk padat ditunjukkan oleh Tabel 1 dan Tabel 2 secara berturut-turut. Proses torefaksi terhadap ketiga sampel tersebut menyebabkan turunnya kandungan air dan zat volatil, serta menaikkan komposisi karbon tetap. Dari data pada Tabel 2, nilai HHV produk padat dapat ditentukan dengan Persamaan (2) dan nilai LHV dengan Persamaan (3). Hasil perhitungan HHV dan LHV untuk produk padat ditunjukkan oleh Gambar 4, kandungan energi produk padat ditunjukkan oleh Gambar 5 dan energy yield produk padat oleh Gambar 6. Nilai energy yield (EY) dari limbah biomassa dianggap normal karena nilai EY dari produk torefaksi pada umumnya berada pada nilai sekitar 90 % [4].

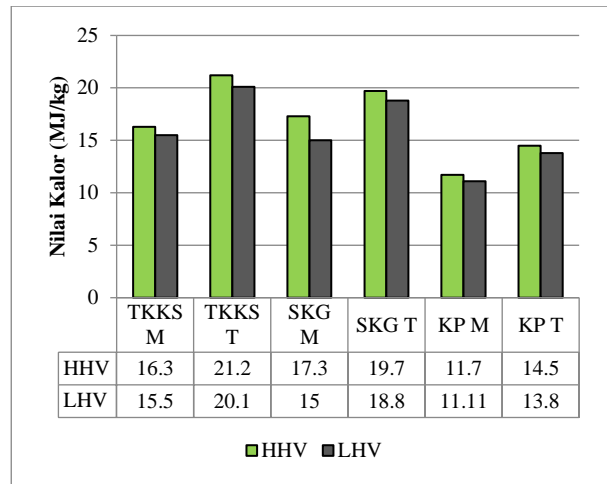
Limbah kulit singkong menunjukkan nilai EY yang paling rendah dibandingkan dua sampel lainnya, salah satu alasan ini dapat terjadi adalah karena tingginya kandungan cairan pada bahan mentahnya. Nilai kandungan cairan yang semakin tinggi pada biomassa berarti semakin besar jumlah uap yang akan dihasilkan dan menyisakan jumlah yang lebih sedikit pada produk padatnya.

Tabel 1. Hasil Analisis Proksimat

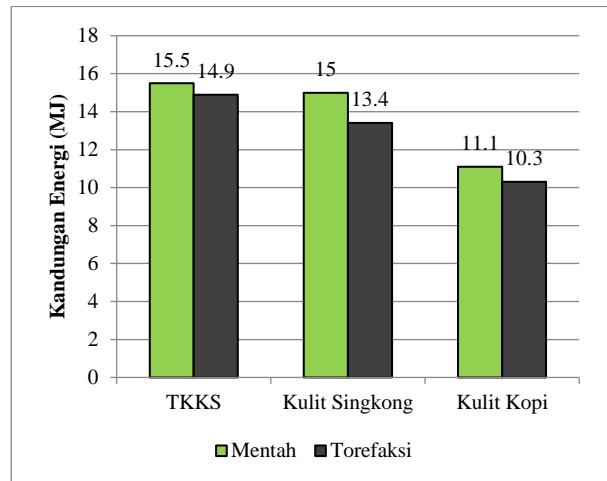
Nama Sampel	%M C	%VM	%FC	%Ash
TKKS M	11,63	75,57	8,8	4
TKKS To	6,33	65,77	20,9	7
SKG M	14,28	75,51	2,21	8
SKG Tor	4,26	69,36	15,38	11
KP M	11,18	65,52	18,3	5
KP Tor	2,91	58,49	30,6	8

Tabel 2. Hasil Analisis Ultimat

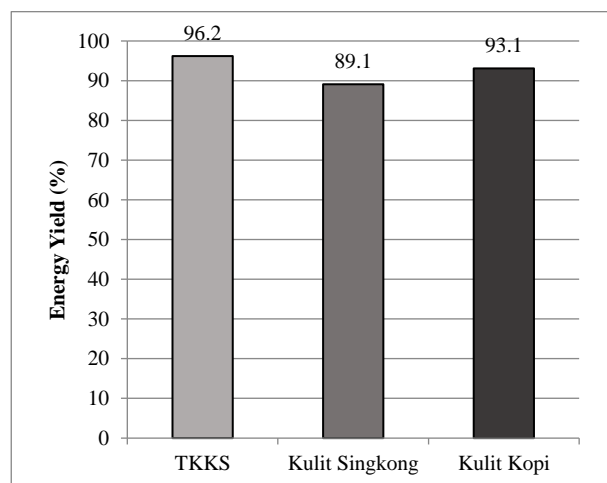
Nama Sampel	%C	%H	%O	%N
TKKS M	42,93	5,56	49,35	2,16
TKKS To	52,78	5,89	39,75	1,58
SKG M	43,29	6,16	48,58	1,97
SKG Tor	52,71	4,70	40,1	2,49
KP M	35,82	4,47	57,17	2,54
KP Tor	43,17	4,05	50,11	2,67



Gambar 4. Nilai HHV dan LHV sampel mentah dan produk torefaksi



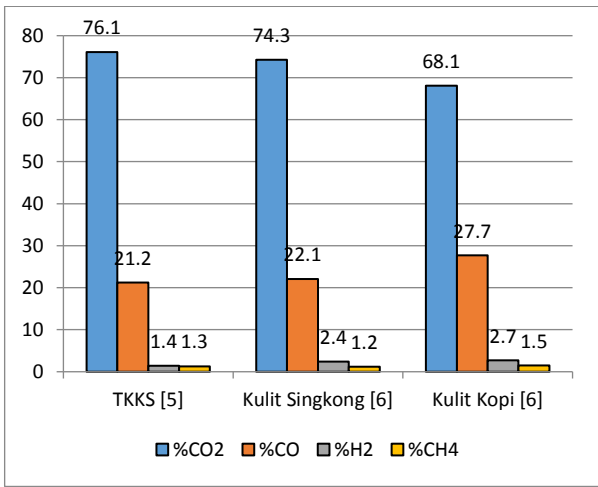
Gambar 5. Kandungan energi bahan mentah dan produk padat torefaksi



Gambar 6. Energy Yield Produk Padat Torefaksi

Keterbatasan akses untuk analisis komposisi produk gas yang diperlukan menyebabkan data komposisi produk gas diperoleh dari data sekunder, yakni hasil penelitian-penelitian terkait dengan

kondisi yang serupa. Gambar 7 menunjukkan komposisi massa dari produk gas torefaksi TKKS, kulit singkong dan kulit kopi.



[5]Talero, 2018 [6]Punsuwan, 2015 [7]Monteiro, 2013

Gambar 7. Komposisi produk gas torefaksi tandan kosong, kulit singkong dan kulit kopi

Massa komponen masing-masing gas ditentukan dengan cara mengalikan persentase massa komposisi gas yang ditampilkan oleh Gambar 4 dengan MY produk gas dan massa biomassa mentah, yang mana dalam penelitian ini sebesar 1 kg,

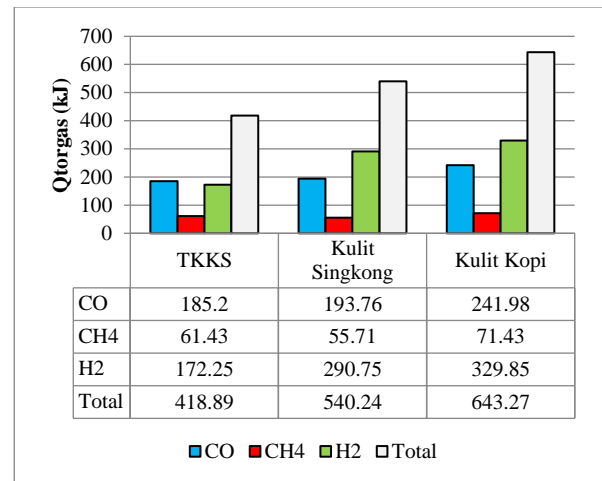
$$Q_{torgas} = m_{CO}LHV_{CO} + m_{H_2}LHV_{H_2} + m_{CH_4}LHV_{CH_4} \quad (4)$$

Dengan mengetahui massa dari tiap gas, jumlah nilai perkalian massa komponen gas dengan nilai kalornya masing-masing adalah total kandungan energi yang dimiliki oleh produk gas, seperti yang ditunjukkan oleh Persamaan (4).

Gambar 8 menunjukkan bahwa produk gas torefaksi kulit kopi memiliki nilai kalor yang paling tinggi karena tingginya kandungan gas-gas energi tinggi seperti H₂ dan CH₄ yang paling besar dibandingkan kedua sampel lainnya.

Seluruh perhitungan sebelumnya dilakukan menggunakan data yang diperoleh dari torefaksi 1

kg bahan mentah. Sedangkan pada perhitungan potensi penghematan energi, yang merupakan perbandingan Q_{torgas} dengan Q_{in} , Q_{torgas} yang digunakan adalah Q_{torgas} yang berasal dari torefaksi 5 kg bahan mentah. Pada penelitian ini, massa tiap bahan biomassa yang masuk kedalam reaktor adalah 1 kg, sedangkan kapasitas maksimum dari reaktor adalah 5 kg [8]. Dengan mengasumsikan persentase dari komponen-komponen torgas tidak berubah, potensi energi gas torefaksi 5 kg TKKS, kulit singkong dan kulit kopi dapat dilihat pada Tabel 3.



Gambar 8. Kandungan kalor produk gas torefaksi

Dengan kandungan energi tertinggi pada produk gasnya, kulit kopi dapat menghemat sampai 5,88 % dari Q_{in} , diikuti oleh kulit singkong dan TKKS. Nilai-nilai ini mungkin terlihat kecil dan tidak signifikan karena reaktor yang digunakan pada penelitian ini adalah reaktor skala laboratorium yang hanya memiliki kapasitas maksimum sebesar 5 kg. Dengan reaktor yang lebih besar, lebih banyak biomassa yang dapat diproses sekaligus, sehingga produk gas yang dihasilkan juga akan menjadi lebih besar, meskipun energi pemanasan juga akan meningkat, namun laju peningkatannya tidak lebih dari laju peningkatan jumlah torgas, sehingga potensi penghematan energi juga akan menjadi lebih tinggi.

Table 3. Potensi Penghematan Q_{in} dengan Memanfaatkan Q_{torgas}

Sampel	Q_{torgas} (kJ)	Q_{torgas} pada kapasitas max. reaktor	Q_{in} gas LPG	Potensi penghematan energi (%)
TKKS	418,9	2094,5	54,73 MJ	3,83
Kulit Singkong	540,3	2701,5		4,94
Kulit Kopi	643,3	3216,5		5,88

Kesimpulan

Pada penelitian ini, tiga jenis limbah biomassa di Indonesia seperti TKKS, kulit singkong dan kulit kopi ditorefaksi pada kondisi standar (275 °C, 30 min) menggunakan reaktor kontinu tipe tubular. Potensi pemanfaatan energi torgas sebagai bahan bakar untuk energi pemanasan diamati untuk ketiga jenis limbah biomassa. Ditemukan bahwa kulit kopi menghasilkan produk gas dengan kandungan energi yang paling besar, yang dapat menghemat sampai 5,88 % energi pemanasan pada kapasitas reaktor maksimum. Diikuti oleh kulit singkong pada 4,94 % dan TKKS pada 3,83 %.

Penghargaan

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada DRPM Kemenristekdikti yang telah mendanai penelitian ini melalui hibah Penelitian Terapan tahun 2019 dan kepada LPPM Unila yang telah memfasilitasi penelitian ini.

Referensi

- [1] Salmina. Studi Pemanfaatan Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit Oleh Masyarakat di Jorong Koto Sawah Nagari Ujung Gading Kecamatan Lembah Melintang. Department of Geography Education, STKIP PGRI Sumatera Barat.
- [2] Basu, Prabir. Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction : Practical Design and Theory (Second Edition). Dalhousie University and Greenfield Research Incorporated.
- [3] Stelte, W. Torrefaction of Utilized Biomass Resources and Characterization of Torrefied Gasses. Center for Renewable Energy and Transport, Danish Technological Institute.
- [4] Mamvura, T.A., et.al. Torrefaction of Waste Biomass for Application in Energy Production in South Africa. South African Journal of Chemical Engineering 25 (2018) 1 – 12.
- [5] Talero, Gabriel, et.al. Biomass Torrefaction in a Standard Retort: A Study on Oil Palm Solid Residues. Fuel 244 (2019) 366 – 378.
- [6] Punsuwan, Nathaya, et.al. Torrefaction of Cassava Peels with CO₂ and KOH: Effects of Temperature, Chemical Loading, and Introduced Carbonization Step on the Properties of Syngas and Porous Carbon Product. International Journal of Chemical Engineering 2015.
- [7] Monteiro, Eliseu, et.al. Experimental and Numerical Analysis of Coffee Husks Biomass

Torrefaction. Energy Procedia 36 (2013) 591 – 595.

- [8] Fariz Muhammad. Perancangan dan Simulasi Termal Reaktor Torefaksi Kontinu Tipe Tubular untuk Produksi Bahan Bakar Padat dari Sampah kota. Department of Mechanical Engineering, Universitas Lampung.