

Produksi Bahan Bakar Padat Terbarukan Berdasarkan Kajian *Torefaksi* Limbah Kulit Ketela Berbasis Gelombang Mikro

Iftikar Flour Nadhif^{1*}, Budi Waluyo²

¹ Laboratorium Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Magelang, Indonesia

² Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Magelang, Indonesia

*email: Iftikar_032@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.31603/benr.v4i02.12203>

Abstract

Biomass has potential as a renewable alternative energy because of its abundant energy sources. Biomass (ketella skin waste) can be improved in quality by the torefaction method. With the torefaction process, the calorific value of biomass will increase and the calorific value of biomass can be equivalent to coal. The purpose of this study is to determine cassava skin waste according to SNI standard No. 1/6235/2000. This torefaction study uses several variable influences. The variables used, namely temperature variations (200°C, 250°C, 300°C), resistance time variations (30 minutes, 45 minutes, 60 minutes) and Power Level variations (defrost, medium low, medium). The test results of cassava skin briquettes according to SNI standard No. 1/6235/2000 with temperature variations were obtained at temperatures of 250°C and 300°C. The test results of cassava skin briquettes according to SNI standard No. 1/6235/2000 with time variations were obtained at 30 minutes and 45 minutes. The test results of cassava skin briquettes according to SNI standard No. 1/6235/2000 with variations in power level were obtained at medium low

Keywords: *Torefaction; variable temperature; hold time; power level; cassava skin.*

Abstrak

Biomassa memiliki potensi sebagai energi alternatif terbarukan karena sumber energinya yang melimpah. Biomassa (limbah kulit ketela) dapat ditingkatkan kualitasnya dengan metode *torefaksi*. Dengan proses *torefaksi* maka nilai kalor pada biomassa akan meningkat dan nilai kalor biomassa dapat setara dengan batubara. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui limbah kulit ketela sesuai standar SNI No. 1/6235/2000. Penelitian *torefaksi* ini menggunakan beberapa pengaruh variabel. Adapun variabel yang digunakan, yaitu variasi suhu (200°C, 250°C, 300°C), variasi waktu tunggu (30 menit, 45 menit, 60 menit) dan variasi *power Level* (*defrost, medium low, medium*). Hasil pengujian briket kulit ketela sesuai standar SNI No. 1/6235/2000 dengan variasi suhu didapatkan pada suhu 250°C dan 300°C. Hasil pengujian *briket* kulit ketela sesuai standar SNI No. 1/6235/2000 dengan variasi waktu didapatkan pada waktu 30 menit dan 45 menit. Hasil pengujian *briket* kulit ketela sesuai standar SNI No. 1/6235/2000 dengan variasi *power level* didapatkan pada *medium low*.

Kata Kunci: *Torefaksi; variabel suhu; waktu tunggu; power level, kulit ketela.*

Available on line August 31, 2024



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

1. Pendahuluan

Konsumsi energi yang meningkat dan penggunaan bahan bakar minyak bumi secara berlebihan mengakibatkan cadangan minyak bumi semakin menipis (Alam, 2021). Menipisnya minyak bumi dunia menarik perhatian dari kalangan akademisi dan politisi, sehingga menuntut perhatian dari kalangan peneliti untuk melakukan riset terkait penghematan energi dan penggunaan sumber energi baru dan terbarukan. Salah satu energi baru dan terbarukan adalah energi matahari, panas bumi, energi air, dan biomassa (Fitriana & Febrina, 2021). Penggunaan energi alternatif diharapkan dapat mengatasi kebutuhan energi dunia yang semakin meningkat, lebih ramah lingkungan dan terbarukan.

Bahan bakar berdasarkan wujudnya terbagi atas bahan bakar padat (arang, batubara, biomassa), bahan bakar cair (bensin, solar, biosolar, avtur, kerosene dan lain-lain), dan bahan bakar gas (LPG, LNG, biogas) (Fitriana & Febrina, 2021). Sebagian besar bahan bakar yang dipakai untuk saat ini bersumber dari fosil yang persediaannya semakin menipis. Briket bioarang salah satu potensi besar sebagai bahan bakar alternatif dan merupakan jenis bahan bakar padat. Sumber energi terbarukan briket yang bersifat ramah lingkungan dan terbarukan merupakan solusi alternatif dalam mengatasi bahan bakar fosil yang semakin menipis.

Biomassa atau bahan-bahan limbah organik di Indonesia yang cukup banyak dan dapat dijadikan sebagai sumber energi alternatif yang dapat diperbarui. Salah satu sumber energi alternatif yang dapat diperbarui di Indonesia biomassa atau bahan-bahan limbah organik. Beberapa biomassa yang memiliki potensi yang cukup besar yang telah diteliti untuk pengembangan bio-briket antara lain berasal dari tongkol jagung (Kalsum, 2016), tempurung kelapa (Eka Putri & Andasuryani, 2017), sampah organik (Febrina, 2018), kotoran sapi (Nur Faizin *et al.*, 2022) dan, sumber bio-massa yang berasal dari limbah pertanian/perkebunan selama ini masih banyak yang belum diolah secara optimal bahkan ada yang dibuang begitu saja (Arni *et al.*, 2014). Energi alternatif yang saat ini masih diteliti dan dikembangkan adalah bahan yang berasal dari limbah pertanian menjadi bahan bakar biomassa. Limbah pertanian merupakan material sisa di lingkup pertanian seperti kulit ketela. Dalam bahan bakar biomassa terdapat beberapa kandungan seperti kadar air, kadar zat menguap, kadar abu, kadar karbon terikat, dan nilai kalor (SNI NO.1/6235/2000).

Magelang adalah salah satu kota yang berada di Jawa Tengah yang memiliki produksi ketela sebesar 49.185 ton (Badan Pusat Statistik, 2020). Hasil produksi ketela yang besar banyak dimanfaatkan oleh masyarakat untuk dijadikan olahan pangan seperti getuk, pothil, selondok, dan keripik ketela. Dari produksi ketela yang begitu banyak akan menghasilkan limbah kulit ketela, limbah yang dihasilkan dari kulit ketela kurang lebih 16% (Siswinarti *et al.*, 2023). Produksi pada ketela pada tahun 2020 sebesar 49.185 ton, maka jumlah kulit ketela yang dihasilkan sebanyak 7.869,6 ton. Dari jumlah tersebut maka akan menghasilkan limbah kulit ketela yang kontinu.

Kulit ketela memiliki nilai kalor sebesar 3834,84 kkal/gram sehingga, sangat cocok pemanfaatan kulit ketela untuk sumber energi biomassa menjadi bahan bakar padat terbarukan (Mawarsih *et al.*, 2023). Pengolahan limbah kulit ketela sebagai sumber energi terbarukan bahan bakar padat dapat dilakukan dengan meningkatkan nilai kalor pada biomassa melalui proses karbonisasi temperatur

rendah yang disebut dengan proses *torefaksi*. Kaji eksperimental konversi biomassa sampah yang ada dimasyarakat menjadi bahan bakar terbarukan menggunakan proses *torefaksi* yang sudah diteliti oleh (Apriyanto *et al.*, 2022). Penelitian ini menggunakan limbah kulit ketela dari produsen getuk yang berada di wilayah Kota Madya dan Kabupaten Magelang.

Torefaksi merupakan proses termokimia dari bahan baku yang memiliki karbon dengan suhu 200°C - 300°C tanpa oksigen (Aris & Yasir, 2023). *Torefaksi* mampu meningkatkan nilai kalor biomassa dan dapat mengatasi kelemahan yang dimiliki seperti kadar air yang tinggi, dan efisiensi pembakaran yang rendah (Haryanto *et al.*, 2019). Material biomassa yang diolah dengan proses *torefaksi* akan mengalami pengurangan massa (Nasution & Limbong, 2017a). Oleh karena, itu dengan dilakukannya proses *torefaksi* nilai kalor biomassa dapat mendekati nilai kalor batubara (Yusuf, 2023).

Berdasarkan dari referensi dan literatur di atas, proses *torefaksi* pembriketan menjadi salah satu faktor untuk pemanfaatan limbah kulit ketela yang berada di produsen getuk Magelang. Hasil produk dari proses *torefaksi* untuk menjadi salah satu pengganti menipisnya batu bara harus sesuai standar SNI NO.1/6235/2000. Hasil produk briket yang baik dari proses *torefaksi* dinilai dari beberapa kandungan seperti kadar air, kadar zat menguap, kadar abu, kadar karbon terikat dan nilai kalor karena nantinya produk briket yang dihasilkan dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif. Hal inilah yang melatar belakangi penulis tertarik untuk melakukan penelitian mengenai pengaruh tekanan dan temperatur pada briket biomassa hasil *torefaksi* untuk mengetahui kualitas briket. Berdasarkan permasalahan tersebut maka penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kalor, kadar air, kadar abu, kadar zat menguap atau *volatile matter* dan kadar karbon atau *fixed carbon* dengan menggunakan perbedaan suhu pada proses *torefaksi* terhadap kelayakan SNI NO.1/6235/2000.

2. Metode

Nasution dan Limbong telah melakukan pengujian arang cangkang kelapa sawit dibuat dengan proses *torefaksi* diudara terbuka. Dari *torefaksi* penilitan ini mendapatkan rendemen rata-rata adalah 38,20% (suhu terakhir *torefaksi* adalah 348 °C, pada saat cangkang kelapa sawit, tidak lagi mengeluarkan asap). Berbeda caranya pengarangan cangkang kelapa sawit antara proses *torefaksi* dan pembakaran tertutup. Pengarangan cangkang kelapa sawit dengan proses *torefaksi* dilaksanakan di udara terbuka dan selama proses *torefaksi* tidak terjadi/muncul api ataupun bara, ini dapat saja terjadi karena suhunya masih rendah (348°C). Sedangkan pembakaran tertutup, cangkang kelapa sawit dibakar sehingga menjadi bara. Oleh karena itu, harus dilakukan pembakaran tertutup agar tidak terjadi oksidasi dengan O₂ dari udara, yang menyebabkan arang cangkang kelapa sawit dapat berubah menjadi abu (Nasution & Limbong, 2017b).

Alamsyah *et al.* (2018) telah melakukan pengujian untuk meningkatkan energi *pellet* biomassa *cocopeat* dengan penerapan proses *torefaksi* dan membandingkan hasil pembakaran (emisi) *pellet cocopeat* biomassa yang mengalami *torefaksi* dengan *pellet* biomassa non-*torefaksi*. Hasil dari pengujian menggunakan proses *torefaksi* mempunyai densitas energi yang lebih besar. Hal ini menguntungkan karena energi yang disimpan menjadi lebih besar daripada biomassa yang tidak di *torefaksi*. Peningkatan nilai kalori pada pross *torefaksi* pada pada *pellet cocopeat* hasil *torefaksi*

mengalami peningkatan energi sebesar 36%. *Pellet cocopeat* yang mengalami *torefaksi* menunjukkan waktu nyala bara yang lebih lama setelah pembakaran yang berarti energi yang tersimpan dalam *pellet* biomassa yang mengalami *torefaksi* lebih besar. Namun, zat menguap gas berbahaya pada pembakaran *pellet* hasil *torefaksi* menghasilkan gas buang berbahaya (terutama CO) dengan konsentrasi (kadar) yang jauh lebih kecil daripada biomassa non-*torefaksi* (Alamsyah *et al.*, 2018).

Iskandar *et al.* (2019) telah melakukan penelitian terhadap briket tempurung arang yang ada disalah satu perusahaan briket arang di Jawa tengah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik briket arang produksi salah satu perusahaan briket arang di Jawa tengah, berdasarkan standar SNI No.1/6235/2000 yang terlihat pada Tabel 1. Parameter proses produksi yang diuji yaitu kadar air dan pengujian hasil produksi briket yaitu berupa geometri, densitas, kadar abu, kadar karbon, nilai kalor, dan kadar zat menguap. Hasil yang didapat adalah briket belum lolos standar SNI No.1/6235/2000 untuk parameter kadar karbon. Sedangkan pada kadar air, kadar abu, nilai kalor, dan kadar zat menguap telah memenuhi standar SNI yang menjadi acuan (Iskandar *et al.*, 2019).

Tabel 1. Standar SNI No.1/6245/2000.

No	Parameter	Standar SNI
1.	Kadar Air (%)	≤ 8
2.	Kadar Abu (%)	≤ 8
3.	Kadar Karbon (%)	≥ 77
4.	Nilai Kalor (%)	≥ 5000
5.	Kadar Menguap (%)	≤ 15

Peneliti lain juga melakukan pengamatan terkait *torefaksi* dengan membandingkan limbah tongkol jagung dan ampas teh, menggunakan proses karbonisasi menggunakan tong karbonisasi/silo. Tujuan penelitian ini membandingkan limbah tongkol jagung dan ampas teh terhadap efektivitas briket sebagai bahan bakar, serta mengetahui kualitas briket yang dapat dihasilkan berdasarkan SNI NO.1/6235/2000. Setelah dilakukan penelitian disimpulkan bahwa tongkol jagung lebih berpotensi untuk dijadikan briket karna menghasilkan nilai kalor yang lebih tinggi yaitu 7.017 *cal/gr* jika dibandingkan ampas teh sebesar 5.220 *cal/gr*. Sedangkan berdasarkan ukuran mesh, briket ukuran 20 *mesh* lebih baik dibandingkan briket ukuran 100 *mesh* dilihat dari hasil nilai kadar air dan nilai kalor.

Baru-baru ini Bensholomo melakukan analisis pengaruh *torefaksi* bambu andong menggunakan *Electric Furnace* (EF) pada berbagai suhu 200°C, 240°C, dan 280°C. Penelitian ini menganalisis pengaruh *torefaksi* dengan reaktor EF terhadap sifat fisis, sifat kimia, mekanis, dan nilai kalor pelet bambu andong. Hasil penelitian kadar air terendah sebesar 6,90% diperoleh pada *pelet torefaksi* suhu 280°C dan peningkatan suhu *torefaksi* menyebabkan penurunan kadar zat mudah menguap namun kadar abu pada suhu 280°C mengalami peningkatan (Mauritio, 2023).

2.1. Torefaksi

Torefaksi adalah pengolahan proses termokimia untuk bahan baku yang memiliki karbon dengan suhu 200°C - 300°C tanpa oksigen (Aris & Yasir, 2023). *Torefaksi* bisa meningkatkan nilai kalor

biomassa dan dapat mengatasi kelemahan yang dimiliki seperti kadar air yang tinggi, dan efisiensi pembakaran yang rendah (Haryanto *et al.*, 2019). Material biomassa yang diuji dengan proses *torefaksi* akan mengalami pengurangan berat (Nasution & Limbong, 2017a). Dengan dilakukannya proses *torefaksi* sehingga nilai kalor biomassa dapat setara dengan batubara.

Dengan proses *torefaksi* maka kandungan karbon tetap akan meningkat dan kandungan zat – zat menguap akan menurun sehingga kualitas biomassa akan meningkat (Chen & Kuo, 2011). Kemudian keuntungan lain dari proses *torefaksi* adalah kandungan air dari produk makin menurun serta sifat makin sulit menyerap air dari udara (Li *et al.*, 2012). Proses memiliki manfaat tambahan mengurangi atau menghilangkan bahan mudah menguap yang tidak diinginkan seperti oksida nitrogen dan oksida sulfur (Chen & Kuo, 2010). Dengan kandungan oksigen lebih rendah maka rasio oksigen terhadap karbon akan menurun sehingga biomassa memiliki karakteristik mendekati batubara.

Pembakaran yang baik untuk bahan bakar adalah kemudahan dalam pembakaran (*reactivity*). Biomassa *torefaksi* akan lebih mudah terbakar akibat kandungan air yang lebih rendah (Saverus, 2019). Selain pembakaran produk biomassa *torefaksi* dapat dimanfaatkan dalam gasifikasi. Pada proses gasifikasi, penggunaan produk biomassa *torefaksi* akan mengurangi potensi terjadinya penggumpalan dan tar (Hasan *et al.*, 2020). Kualitas produk *torefaksi* sangat ditentukan oleh karakteristik biomassa, temperatur dan lama proses *torefaksi*. Makin lama proses *torefaksi* dapat menyebabkan komponen– komponen energi hilang sehingga kandungan energi menurun (Irawan *et al.*, 2015) Proses *torefaksi* dapat dibagi menjadi beberapa langkah (Nasution & Limbong, 2017b), langkah– langkah proses terofaksi adalah:

a. Pemanasan Awal

Proses pemanasan awal disebut juga *torefaksi* ringan karena suhu biomassa mencapai 100°C air yang terkandung dalam biomassa akan menguap dan pada suhu mendekati 200°C kandungan air akan terlepas akibat perpindahan kalor pada biomassa. Pada pemanasan awal sebagian berat biomassa juga akan berkurang.

b. Pengeringan

Proses awal biomassa dipanaskan untuk mencapai tahap pengeringan. Pada tahapan ini, temperature biomassa meningkat, dan uap air pada biomassa mulai mengalami penguapan.

c. *Torefaksi*

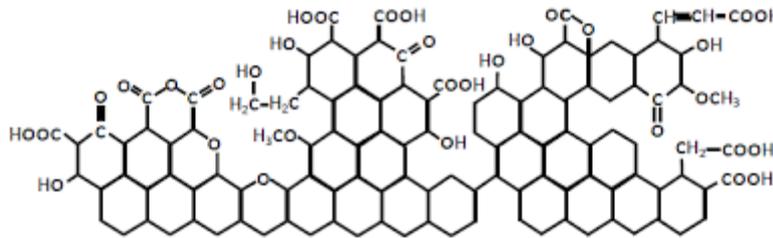
Proses *torefaksi* akan dimulai pada temperatur 200°C-300°C. Temperatur *torefaksi* didefinisikan sebagai temperatur konstan maksimum. Pada tahapan ini sebagian berat biomassa akan hilang.

d. Pendinginan

Pada tahapan ini produk padatan hasil proses *torefaksi* didinginkan dari temperatur kurang dari 200°C hingga mencapai temperatur ruangan. Gelombang mikro merupakan gelombang elektromagnetik pada rentang frekuensi 300MHz–300GHz (Sukoyo, 2019). Gelombang mikro berada pada spektrum elektromagnetik antara gelombang inframerah dan gelombang radio dengan panjang antara 0,01 dan 1 m. *Microwave* dapat diubah menjadi energi panas melalui interaksi dengan bahan dielektrik. Pemanasan dielektrik mengacu pada pemanasan oleh radiasi gelombang elektromagnetik frekuensi tinggi, yaitu gelombang frekuensi radio dan gelombang mikro. Interaksi partikel bermuatan dalam

beberapa bahan dengan komponen medan listrik radiasi elektromagnetik menyebabkan material tersebut memanans (Udyani *et al.*, 2019).

Kulit ketela adalah limbah ubi kayu yang kandungan karbonnya sebesar 59,31%. Dengan adanya kandungan karbon yang cukup tinggi maka kulit singkong dapat dimanfaatkan sebagai *biochar* (Puspitasari *et al.*, 2022). Biochar sendiri adalah suatu produk yang kaya dengan karbon yang diperoleh dari biomas. *Biochar* dikenal sebagai arang yang terbuat dari bahan organik, dengan melalui proses *torefaksi* (tanpa O₂ dan suhu tinggi). *Torefaksi* merupakan kasus khusus termolisis yang bertujuan melepaskan zat menguap (*volatile matter*) pada kandungan dalam biomassa.



Gambar 1. Ilustrasi struktur kimia *biochar* (Izzah, 2019).

Analisis uji kalor bertujuan untuk mengukur jumlah kalor atau nilai kalori yang dibebaskan pada pembakaran sempurna dalam oksigen berlebih suatu materi. Pengujian ini menggunakan alat bom kalorimeter (Mafruddin *et al.*, 2022). Analisis *proximate* dilaksanakan dengan metode ASTM D5142-02 (*American Standart*) untuk mendapatkan data kadar air, kadar abu, kadar zat menguap atau *volatile matter* dan kadar karbon atau *fixed carbon*. Analisis nilai *proximate* dilaksanakan dengan menggunakan alat *Thermografimetric Analyzer* (TGA) mengikuti prosedur the JIS (*Japan Industrial Standar*). Pengamatan dengan menggunakan TGA dilaksanakan dengan menghitung perubahan berat sampel terhadap waktu dan temperatur, yaitu *Volatile Matter* (VM), *Fix Carbon* (FC), dan *abu* (ASH) (Wahyudi *et al.*, 2020).

2.2. Konsep dalam Menyelesaikan *Torefaksi*

Sumber radiasi banyak dijumpai dalam alat komunikasi diantaranya *microwave*, *handphone*, radio dan televisi. Radiasi yang berbentuk gelombang disebut foton (Fitri, 2022). Dimana energi foton memiliki rumus $E = h \times f$.

E = Energi foton (J)

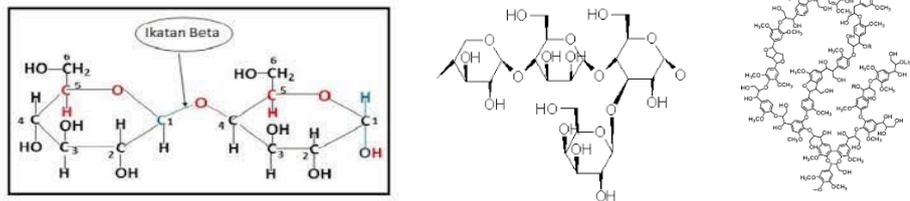
h = Tetapan planck ($6,63 \times 10^{-34} JS$)

f = Frekuensi gelombang elektromagnetik (Hz)

Pada penelitian *torefaksi* ini menggunakan *microwave* dimana di dalam *microwave* terdapat frekuensi gelombang elektromagnetik. Pada *microwave* sendiri frekuensinya sebesar 245×10^7 Hz. Maka berkaitan dengan energi foton yang dihasilkan pada *microwave* adalah sebesar $16.045 \times 10^{-28} J$.

Kulit ketela adalah limbah ubi kayu yang kandungan karbonnya sebesar 59,31%, *selulosa* 50%, *hemiselulosa* 35%, dan *lignin* 30% (Puspitasari *et al.*, 2022). *Selulosa* adalah senyawa seperti

serabut, liat, tidak larut dalam air dan ditemukan di dalam sel pelindung tanaman, terutama pada tangkai, batang, dahan semua bagian berkayu dari jaringan tumbuhan (Octaviana, 2017). *Selulosa* suatu *polimer* panjang yang memiliki rumus molekul $(C_6H_{10}O_5)_n$. *Hemiselulosa* adalah suatu *polisakarida* lain yang terdapat dalam tanaman dan tergolong senyawa organik, *hemiselulosa* memiliki rumus molekul $(C_5H_{10}O_5)_n$ (Ridwan, Fitri Ariani, 2022). *Lignin* salah satu komponen penyusun tanaman yang bersama dengan *selulosa* dan bahan-bahan serat lainnya membentuk bagian struktural dan sel tumbuhan $(C_9H_{10}O_2)_n$ (Pradana et al., 2017) yang terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Rumus struktur *selulosa*, *hemiselulosa* dan *lignin*.

Karbon merupakan unsur kimia yang mempunyai simbol C dan memiliki nomor atom 6 pada tabel periodik. Unsur ini termasuk golongan IVA yang mempunyai elektron valensi 4. Setiap atom karbon membentuk ikatan kovalen dengan tiga atom karbon lainnya membentuk susunan *heksagonal* dan berlapis. Atom karbon memiliki empat elektron *valensi*, sehingga pada struktur arang, atom karbonnya masih memiliki satu elektron yang belum berikatan (elektron bebas) sesuai Gambar 3.



Gambar 3. Ikatan atom karbon.

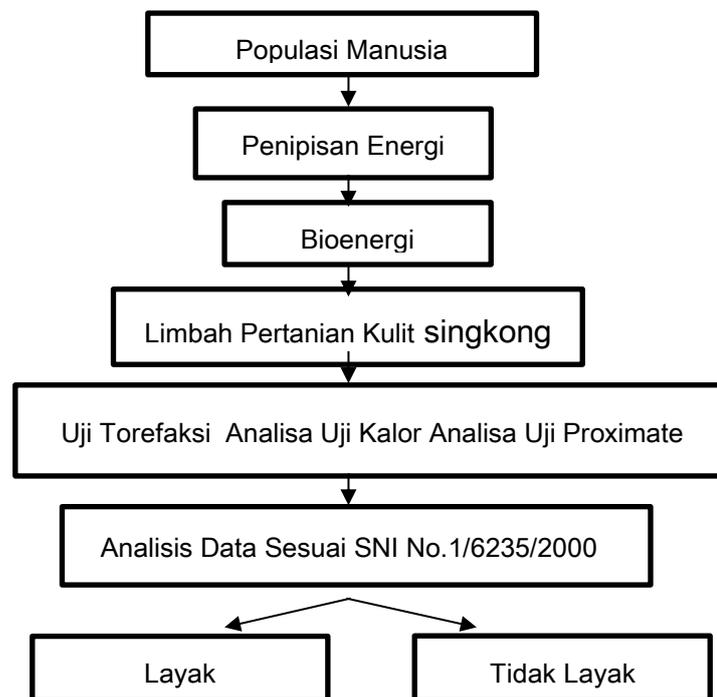
Dari senyawa *selulosa*, *hemiselulosa* dan *lignin* merupakan ikatan yang memiliki rantai, dari rantai C_1-C_4 akan menghasilkan gas, rantai C_4-C_{17} , akan menghasilkan *liquid* dan rantai $C_{18}-C_{32}$ akan menghasilkan *solid* (Indah Rizki Anugrah, 2020). Dari proses pembakaran tidak sempurna yang diperoleh dari proses *torefaksi* (pembakaran tanpa O_2), *polimer* dari *selulosa* atau *poliselulosa* hanya berubah *fase* menjadi padat, dan rantai *polimer*-nya tidak mengalami perubahan struktur rantai karbonnya, sedangkan senyawa lain yang berbentuk gas/*volatile* akan menguap, senyawa berupa *liquid* akan tetap (diperoleh hasil dari hasil proses *torefaksi*).

Proses *torefaksi* menggunakan energi gelombang mikro (*microwave*) memiliki beberapa kelebihan seperti waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu reaksi yang diinginkan lebih cepat,

suhu yang dibutuhkan untuk mendapatkan kualitas produk yang sama lebih kecil, kebutuhan energi untuk proses dekomposisi biomassa lebih kecil, energi yang dihasilkan lebih tinggi (Fauzan, 2023).

Sebagian besar bahan bakar yang dipakai untuk saat ini bersumber dari fosil yang persediaannya semakin menipis. Briket biorang salah satu potensi besar sebagai bahan bakar alternatif dan merupakan jenis bahan bakar padat. Sumber energi terbarukan briket yang bersifat ramah lingkungan dan terbarukan merupakan solusi alternatif dalam mengatasi bahan bakar fosil yang menipis.

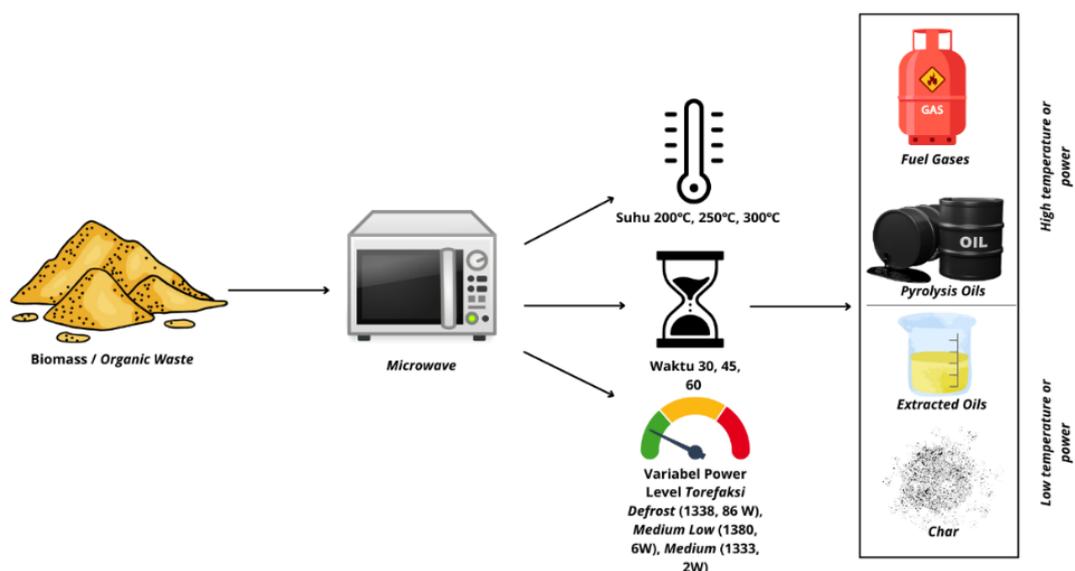
Penelitian terbaru laju pembakaran kulit ketela dengan proses *pirolysis*. Pada penelitian ini mendapatkan hasil nilai kalor 5042,7615 ; kadar air 6,9347 (Widodo & Dewi, 2023). Penelitian yang dilakukan ini masih kurang mengacu pada standar SNI No.1/6235/2000, karena hanya menguji nilai kalor dan kadar air. Peneliti dalam hal ini ingin menguji kualitas briket arang kulit ketela mengacu kepada standar SNI No.1/6235/2000 yang meliputi uji kadar air, kadar abu, kadar karbon, nilai kalor, dan kadar zat menguap atau *volatile Matter*. Untuk kerangka konsep penelitian yang dilakukan terlihat pada Gambar 4 dan 5.



Gambar 4. Kerangka konsep penelitian yang dilakukan.

Pada kerangka konsep ini yaitu menjelaskan penelitian yang sudah dilakukan. Limbah kulit ketela dapat digunakan sebagai pengganti bahan bakar fosil. Untuk penelitian menggunakan metode *torefaksi*. *Torefaksi* meningkatkan nilai kalor biomassa dan dapat mengatasi kelemahan yang dimiliki seperti kadar air yang tinggi dan efisiensi pembakaran yang rendah. Dengan proses *torefaksi*, maka kandungan karbon tetap akan meningkat dan kandungan zat – zat menguap akan menurun sehingga kualitas biomassa akan meningkat. Keuntungan yang didapat dari proses *torefaksi* adalah kandungan air dari produk makin menurun serta sifat makin sulit menyerap air dari udara.

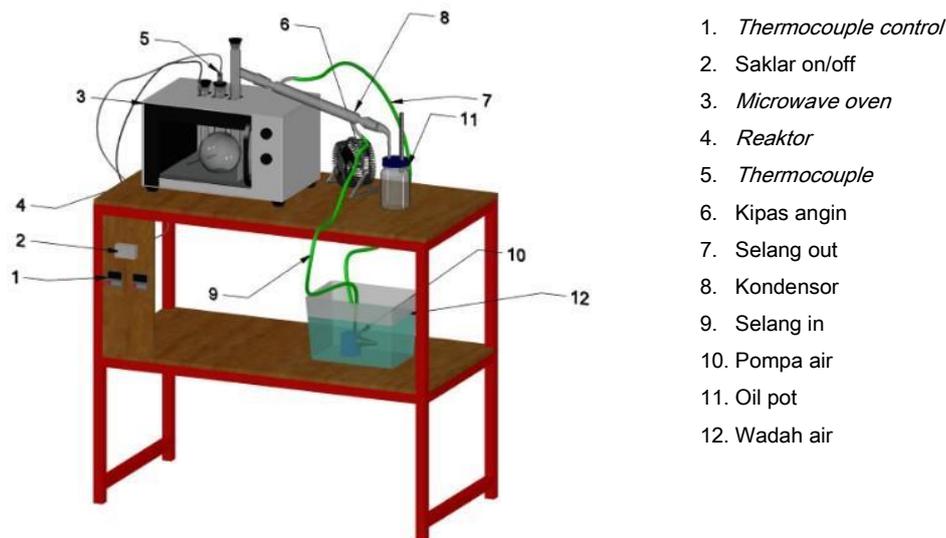
Proses *torefaksi* memiliki manfaat tambahan mengurangi atau menghilangkan bahan mudah menguap yang tidak diinginkan seperti oksida *nitrogen* dan *oksida sulfur*. Dengan kandungan oksigen lebih rendah maka rasio oksigen terhadap karbon akan menurun sehingga biomassa memiliki karakteristik mendekati batubara. *Microwave* dapat diubah menjadi energi panas melalui interaksi dengan bahan dielektrik. Pemanasan dielektrik mengacu pada pemanasan oleh radiasi gelombang elektromagnetik frekuensi tinggi, yaitu gelombang frekuensi radio dan gelombang mikro. Interaksi partikel bermuatan dalam beberapa bahan dengan komponen medan listrik radiasi elektromagnetik menyebabkan material tersebut memanas. Gelombang mikro dari hasil *torefaksi* didapatkan hasil arang (*solid*) dan *liquid* karena menggunakan temperatur yang lebih rendah (200°C-300°C) dibandingkan *pirolisis* yang menggunakan suhu tinggi (400°C-600°C). Dengan menggunakan beberapa metode diantaranya suhu, waktu dan variabel bebas lebih jelas dapat dilihat pada [Gambar 5](#).



[Gambar 5](#). Konsep yang disajikan dalam penelitian.

2.3. Parameter Penelitian

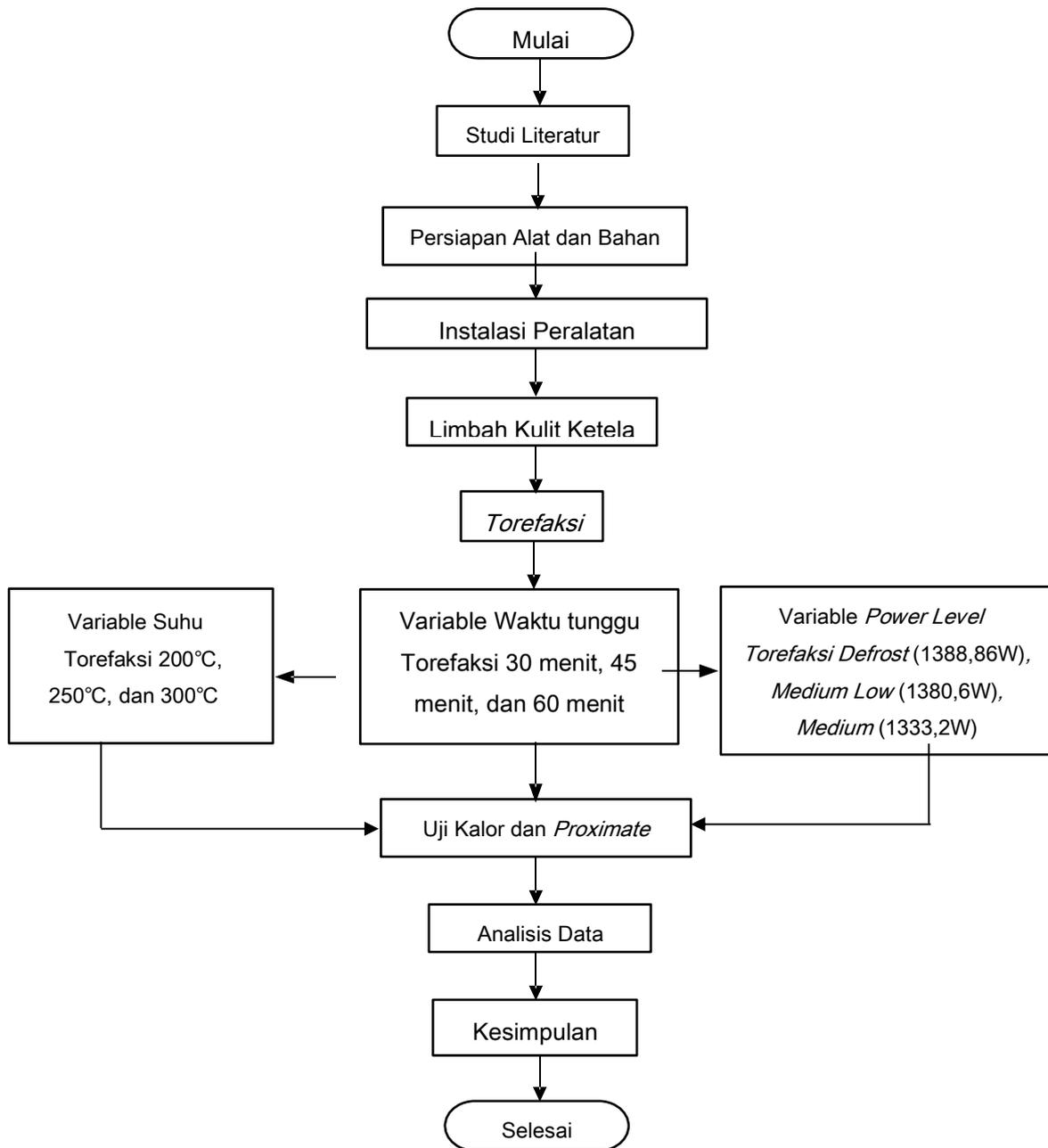
Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah kulit ketela. Sebelum dilakukan proses *torefaksi* kulit ketela dijemur pada sinar matahari sampai didapatkan kulit ketela yang kering. Proses *torefaksi* menggunakan *microwave oven* yang memiliki daya 900 *Watt*. Pada penelitian ini menggunakan 3 variabel suhu, waktu tunggu dan *power level*. Suhu yang digunakan 200°C, 250°C, dan 300°C. Waktu tunggu yang digunakan adalah 30 menit, 45 menit dan 60 menit. *Power level* yang digunakan adalah *defrost*, *medium low* dan *medium*. *Set-up* penelitian yang terlihat pada [Gambar 6](#) menjelaskna bagaimana pemasangan peralatan ketika melakukan proses torefaksi.



Gambar 6. Set-up penelitian.

2.4. Langkah–Langkah Pengujian

Mempersiapkan alat dan bahan yang akan digunakan. Timbang kulit ketela seberat 200 gram. Masukkan bahan baku ke dalam tabung *reaktor*. Selanjutnya masukkan tabung *reaktor* ke dalam *microwave oven*. Tutup tabung *reaktor* dan memasang *thermocouple* serta memasang T penghubung tabung *reaktor* dengan kondensor. Pasang kondensor pada T penghubung tabung *reaktor* dan pada *oil pot*. Pasang selang pendingin untuk menghubungkan kondensor dengan pompa air. Hidupkan pompa air dan kipas angin. Hidupkan *microwave oven* dan *mengatur power level* pada *defrost*, *medium low* dan *medium*. Saat suhu *thermocouple* sudah mencapai suhu yang diinginkan, maka segera memulai menghitung waktu yang sudah ditentukan menggunakan *stopwatch*. Jika sudah mencapai waktu yang ditentukan segera matikan *microwave oven*. Keluarkan tabung *reaktor* dari *microwave* saat suhu di dalam tabung *reaktor* di bawah 50°C atau suhu ruangan di dalam *microwave* sudah mencapai 30°C. Keluarkan bahan dari tabung *reaktor* dan masukkan ke dalam *toples/wadah*. Tuangkan cairan hasil kondensasi dari *oil pot* ke dalam botol sampel. Timbang bahan hasil *torefaksi* dan cairan, untuk mengetahui berat bahan setelah dilakukan proses *torefaksi microwave oven*. Membersihkan semua alat yang sudah digunakan dalam proses *torefaksi*. Ulangi langkah-langkah di atas dengan mengubah suhu dan *power level*. Langkah – langkah pengujian secara terperinci terlihat pada Gambar 7.

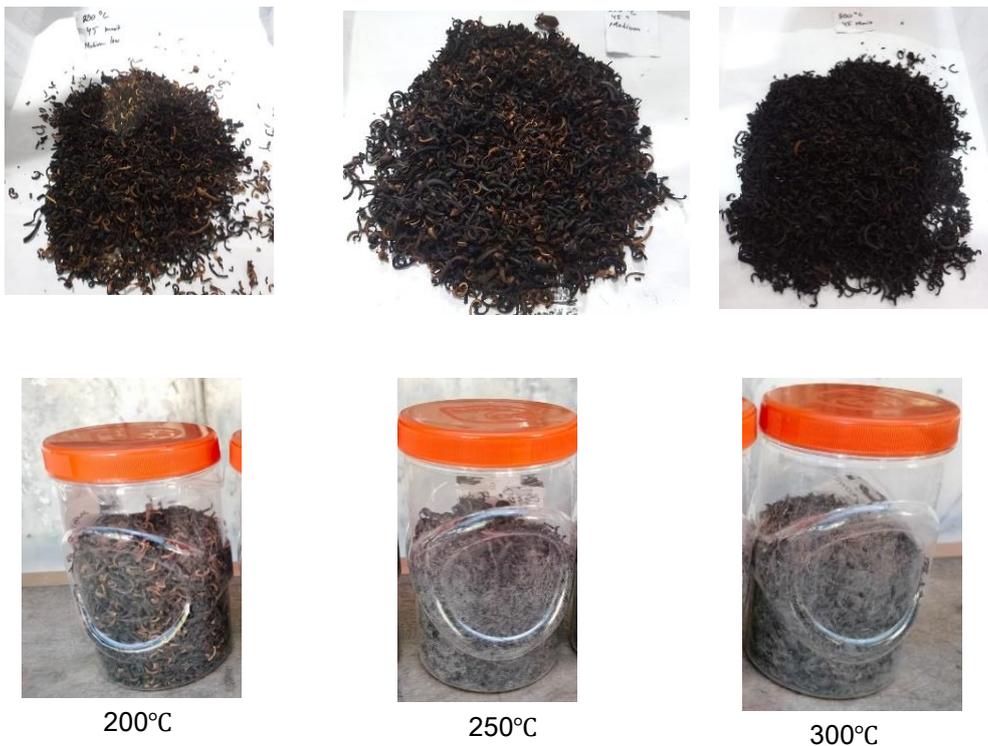


Gambar 7. Langkah – langkah pengujian dalam penelitian.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengaruh Variasi Suhu pada Proses *Torefaksi*

Pengujian *torefaksi* kulit ketela ini menggunakan variasi suhu 200°C, 250°C, dan 300°C. Pada proses *torefaksi* ini bahan baku kulit ketela yang digunakan massa 200 gram dan menggunakan *Power level medium low* yang dilakukan dengan menggunakan waktu tunggu 45 menit pada setiap prosesnya. Hasil arang dan liquid dari pengujian pengaruh temperatue proses *torefaksi* terlihat pada [Gambar 8](#) dan [9](#).



[Gambar 8](#). Hasil arang variasi suhu.



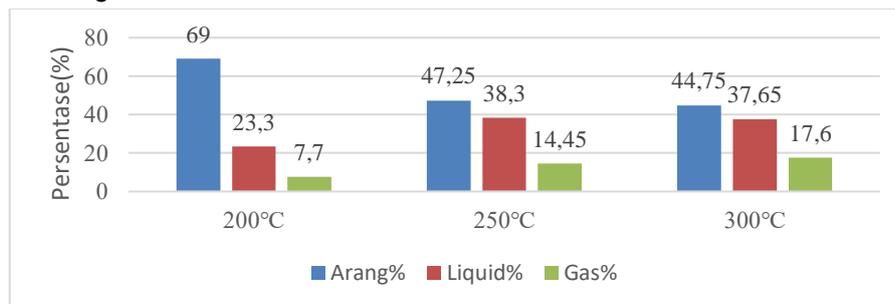
[Gambar 9](#). Hasil *liquid* variasi suhu.

Pengaruh variasi suhu terhadap hasil *torefaksi* mempunyai pengaruh terhadap bentuk dan massa arang, *liquid* yang dihasilkan dan gas. Untuk data hasil *torefaksi* kulit ketela variabel suhu dengan waktu tunggu 45 menit dan *power level medium low* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil *torefaksi* kulit ketela variasi suhu.

MassaAwal (gram)	Suhu (°C)	Waktu (menit)	Power Level (watt)	Massa arang (gram)	Massa arang (% wt)	Massa <i>liquid</i> (gram)	Massa <i>liquid</i> (% wt)	Massa gas (gram)	Massa gas (% wt)
200	200	45	Medium low (1380,6)	138	69	46,6	23,3	15,4	7,7
200	250	45	Medium low (1380,6)	94,5	47,25	76,6	38,3	28,9	14,45
200	300	45	Medium low (1380,6)	89,5	44,75	75,3	37,65	35,2	17,6

Persentase massa arang hasil *torefaksi* kulit ketela dengan pengaruh variabel suhu dengan waktu tinggal 45 menit dan *Power Level medium low* dapat dilihat pada Gambar 10. Pada proses *torefaksi* kulit ketela dengan pengaruh variasi suhu ini menghasilkan persentase massa sebesar 69% pada suhu 200°C, 47,25% pada suhu 250°C dan 44,75% pada suhu 300°C. Semakin besar suhu pada proses ini hasil arang yang dihasilkan semakin hitam dan massa arang semakin berkurang.



Gambar 10. Grafik persentase massa variasi suhu.

Selain menghasilkan produk arang pada proses *torefaksi* ini juga menghasilkan produk *liquid* yang sudah terkondensasi dan juga gas yang terbuang karena tidak dapat terkondensasi. Adapun hasil persentase hasil *liquid* yang dapat terkondensasi sebesar 23,3% pada suhu 200°C, 38,30% pada suhu 250°C dan 37,65% pada suhu 300°C. Dan hasil persentase gas yang tidak dapat terkondensasi yaitu sebesar 7,7% pada suhu 200°C, 14,45% pada suhu 250°C dan 17,6% pada suhu 300°C.

Persentase massa arang paling tinggi didapatkan pada suhu 200°C dengan persentase massa arang 69% dan persentase massa arang paling sedikit didapatkan pada suhu 300°C dengan persentase massa arang 44,75%. Dari hasil persentase produk arang tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi suhu pada proses *torefaksi* maka persentase massa arang

yang dihasilkan semakin rendah. Semakin tinggi suhu *torefaksi* juga menghasilkan produk arang yang semakin padat.

Selain produk arang pada *torefaksi* menggunakan variasi suhu juga terdapat *liquid* dan gas terbuang setelah dilakukannya proses *torefaksi*. Untuk gas terbuang dikarenakan uap dari proses *torefaksi* tidak dapat terkondensasi oleh kondensator. Untuk uap dari proses *torefaksi* yang dapat terkondensasi akan menjadi *liquid* dan yang tidak dapat terkondensasi akan menjadi gas.

a. Hasil Analisa Nilai Kalor

Dari hasil pengujian kalor pada Tabel 3 dapat diketahui bahwa nilai kalor tertinggi didapatkan pada suhu 300°C dengan nilai kalor 5680,9664 kal/gr. Dan nilai kalor terendah didapatkan pada suhu 200°C dengan nilai kalor 4580,9484 kal/gr. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa suhu memiliki pengaruh terhadap nilai kalor yang dihasilkan. Semakin tinggi suhu yang digunakan maka nilai kalor yang dihasilkan juga semakin besar, sehingga kualitas biomassa juga menjadi lebih baik.

Tabel 3. Hasil analisa kalor proses *torefaksi microwave* dengan menggunakan variasi suhu.

Massa awal (gram)	Suhu (°C)	Waktu(menit)	Power Level (watt)	Hasil analisa nilai kalor (kal/gr)
200	200	45	Medium low(1380,6)	4580,9484
200	250	45	Medium low(1380,6)	5176,6667
200	300	45	Medium low(1380,6)	5680,9664

b. Hasil Analisa Nilai *Proximate*

Berdasarkan Tabel 4 diketahui bahwa dengan pengujian pada variabel bebas suhu, dapat dihasilkan semakin besar suhu maka kadar abu yang dihasilkan semakin besar sedangkan *volatile matter* atau zat menguap dan kadar karbon didapatkan berbanding terbalik. Namun, pada suhu 250°C *volatile matter* lebih besar 6,5859% dibandingkan suhu 300°C yang memiliki *volatile matter* 6,4255% dikarenakan kadar air pada suhu 250°C memiliki kadar air yang lebih banyak. Sedangkan kadar karbon pada suhu 250°C lebih sedikit dengan kadar karbon 83,6649% dibandingkan pada suhu 300°C lebih banyak yaitu sebesar 84,6297%.

Tabel 4. Hasil analisa proximate *torefaksi microwave* dengan menggunakan variasi suhu.

MassaAwal (gram)	Suhu (°C)	Waktu (menit)	Power Level (watt)	Hasil Analisa Proximate			
				Abu (%)	Air (%)	Volatile Matter (%)	Fix Carbon (%)
200	200	45	Medium low(1380,6)	4,830	4,1006	3,9315	87,1249
200	250	45	Medium low(1380,6)	5,1783	4,5709	6,5859	83,6649
200	300	45	Medium low(1380,6)	7,1192	1,8256	6,4255	84,6297

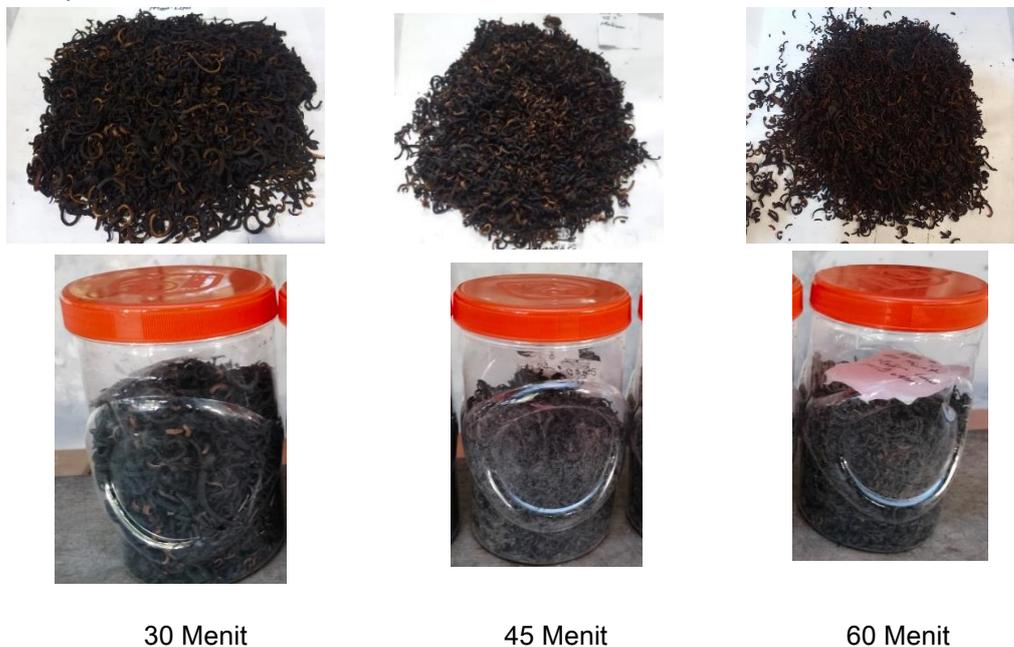
Berdasarkan kondisi tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin rendah kadar abu yang dihasilkan semakin rendah pula zat menguap yang dihasilkan. Semakin rendah kadar air juga sejalan dengan semakin banyak kadar karbon yang dihasilkan. Namun, tetap melihat kadar zat menguap dan kadar air untuk melihat besaran kadar karbonnya. Tabel 5, Tabel 3 tentang pengujian kalor, Tabel 2 tentang pengujian *proximate* sesuai SNI No.1/6235/2000 pada suhu 250°C dan suhu 300°C. Sedangkan pada pengujian suhu 200°C, nilai kalor tidak memenuhi standar. Namun hasil uji *proximate* memenuhi standar.

Tabel 5. Hasil Pengujian Briket Kulit Ketela Sesuai Standar SNI No.1/6235/2000.

Parameter	Standar SNI	Hasil Uji	
		250°C/45 menit/ <i>medium low</i> (1380,6W)	300°C/45 menit/ <i>medium</i> <i>Low</i> (1380,6W)
Kadar Abu (%)	≤8	5,1783	7,1192
Kadar Air (%)	≤8	4,5709	1,8256
Kadar <i>Volatile matter</i> (%)	≤15	6,5859	6,4255
Kadar Kalor (kal/g)	≥5000	5176,6667	5680,9664
Kadar Karbon (%)	≥77	83,6649	84,6297

3.2 Pengaruh Variasi Waktu pada Proses *Torefaksi*

Pengujian *torefaksi* kulit ketela ini menggunakan variasi waktu 30 menit, 45 menit, dan 60 menit. Pada proses *torefaksi* ini bahan baku kulit ketela yang digunakan massa 200 gram dan menggunakan Power Level *medium low* yang dilakukan dengan menggunakan suhu 250°C pada setiap prosesnya. Hasil arang dan liquid dari pengujian pengaruh temperatur proses *torefaksi* terlihat pada Gambar 11 dan 12 .



Gambar 11. Hasil arang variasi waktu.



Gambar 12. Hasil *liquid* variasi waktu.

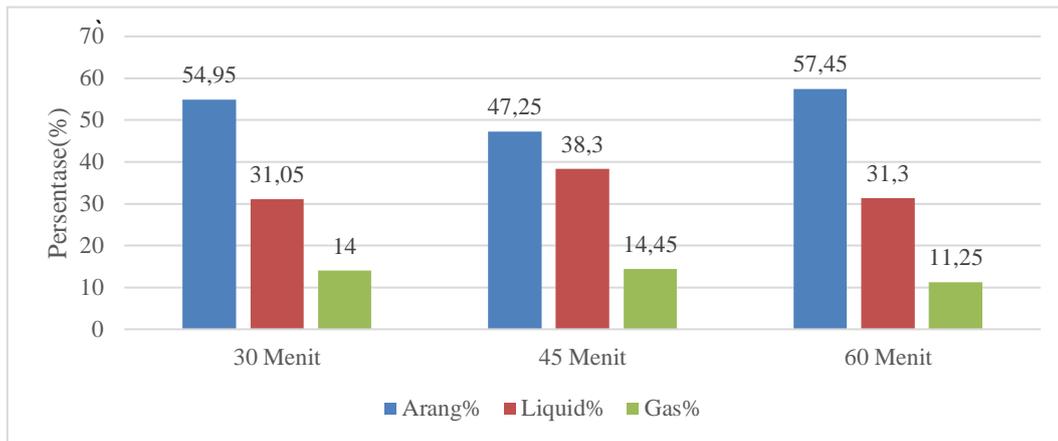
Pengaruh variasi waktu terhadap hasil *torefaksi* mempunyai pengaruh terhadap hasil bentuk dan massa arang, liquid yang dihasilkan dan gas. Untuk data hasil toreraksi kulit ketela variasi waktu dengan suhu 250°C dan Power Level medium low dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil *Torefaksi* Kulit Ketela Variasi Waktu.

Massa Awal (gram)	Suhu (°C)	Waktu (menit)	Power Level(watt)	Massa arang (gram)	(% wt)	Massa <i>liquid</i> (gram)	(% wt)	Massa gas (gram)	(% wt)
200	250	30	Medium low(1380,6)	109,9	54,95	62,1	31,05	28	14
200	250	45	Medium low(1380,6)	94,5	47,25	76,6	38,3	28,9	14,45
200	250	60	Medium low(1380,6)	114,9	57,45	62,6	31,3	22,5	11,25

Proses *torefaksi* kulit ketela dengan menggunakan variasi waktu tunggu 30 menit, 45 menit, dan 60 menit ini mempengaruhi persentase dari produk arang yang dihasilkan. Persentase massa arang paling tinggi didapatkan dengan menggunakan waktu tunggu 60 menit dengan persentase massa arang 57,45% dan persentase massa arang paling sedikit didapatkan dengan menggunakan waktu tunggu 45 menit dengan persentase massa arang 47,25%. Dari hasil persentase produk arang tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin lama waktu tunggu yang digunakan pada proses *torefaksi* maka persentase massa arang yang dihasilkan semakin banyak.

Persentase massa arang hasil *torefaksi* kulit ketela dengan pengaruh variasi waktu tunggu dengan suhu 300°C dan *Power Level medium low* dapat dilihat pada Gambar 13. Pada proses *torefaksi* kulit ketela dengan pengaruh variasi waktu ini menghasilkan persentase massa sebesar 54,95% pada waktu 30 menit, 47,25% pada waktu 45 menit dan 57,75% pada waktu 60 menit. Semakin lama waktu pada proses ini hasil arang yang dihasilkan semakin hitam dan massa arang semakin padat.



Gambar 13. Grafik persentase massa variasi waktu.

Selain menghasilkan produk arang pada proses *torrefaksi* ini juga menghasilkan produk *liquid* yang sudah terkondensasi dan juga gas yang terbuang karena tidak dapat terkondensasi. Adapun hasil persentase hasil *liquid* yang dapat terkondensasi sebesar 31,05% pada waktu 30 menit, 38,3% pada waktu 45 menit dan 31,3% pada waktu 60 menit. Dan hasil persentase gas yang tidak dapat terkondensasi yaitu sebesar 14% pada waktu 30 menit, 14,45% pada waktu 45 menit, dan 11,25% pada waktu 60 menit.

a. Hasil Analisa Nilai Kalor

Dari hasil pengujian kalor pada Tabel 7 dapat diketahui bahwa nilai kalor tertinggi didapatkan pada waktu 30 menit dengan nilai kalor 5692,3813 kal/gr. Dan nilai kalor terendah didapatkan pada suhu 60 menit dengan nilai kalor 4934,4471 kal/gr. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa waktu memiliki pengaruh terhadap nilai kalor yang dihasilkan. Semakin sedikit waktu yang digunakan maka nilai kalor yang dihasilkan juga semakin besar, sehingga kualitas biomassa juga menjadi lebih baik.

Tabel 7. Hasil analisa kalor proses *torrefaksi microwave* dengan menggunakan variasi waktu.

MassaAwal (gram)	Suhu (°C)	Waktu(menit)	Power Level (watt)	Hasil Analisa Nilai Kalor (kal/gr)
200	250	30	Medium low (1380,6)	5692,3813
200	250	45	Medium low (1380,6)	5176,6667
200	250	60	Medium low (1380,6)	4934,4471

b. Hasil Analisa Nilai Proximate

Berdasarkan Tabel 8 diketahui bahwa dengan pengujian pada variabel bebas waktu 30 menit abu yang dihasilkan lebih banyak 6,4484% sedangkan *volatile matter* atau zat menguap yang didapatkan berbanding terbalik yaitu sebesar 4,7638% dan karbon yang dihasilkan 84,4498%. Namun, pada waktu 45 menit abu yang dihasilkan lebih sedikit 5,1783%, zat

menguap yang dihasilkan lebih 6,5859% dan kadar karbon 83,6649%. Sedangkan pada pengujian 60 menit kadar abu yang dihasilkan lebih sedikit yaitu sebesar 5,3295% dan zat menguap yang dihasilkan mendekati hasil pengujian ada waktu 30 menit yaitu sebesar 5,0744%. Berdasarkan kondisi tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi kadar abu yang dihasilkan semakin rendah pula zat menguap yang dihasilkan. Semakin rendah kadar air juga sejalan dengan penurunan kadar zat menguap yang dihasilkan.

Tabel 8. Hasil analisa proximate *torefaksi microwave* dengan menggunakan variabel waktu.

Massa Awal (gram)	Suhu (°C)	Waktu (menit)	Power Level (watt)	Hasil Analisa Proximate			
				Abu (%)	Air (%)	Volatile Matter (%)	Fix Carbon (%)
200	250	30	Medium low(1380,6)	6,4484	4,338	4,7638	84,4498
200	250	45	Medium low(1380,6)	5,1783	4,5709	6,5859	83,6649
200	250	60	Medium low(1380,6)	5,3295	3,0351	5,0744	86,5612

Berdasarkan [Tabel 9](#), [Tabel 8](#) tentang hasil pengujian kalor dan [Tabel 7](#) tentang pengujian *proximate* sesuai SNI No. 1/6235/2000 pada waktu sudah 30 menit dan 45 menit. Sedangkan pada pengujian 60 menit, nilai kalor tidak memenuhi standar. Namun hasil uji *proximate* memenuhi standar.

Tabel 9. Hasil Pengujian Briket Kulit Ketela Sesuai Standar SNI No. 1/6235/2000

Parameter	Standar SNI	Hasil Uji	
		250°C/30 menit/ <i>Low</i> (1380,6W)	250°C/45 menit/ <i>Medium</i> <i>Low</i> 1380,6W)
Kadar Abu (%)	≤8	6,4454	5,1783
Kadar Air (%)	≤8	4,338	4,5709
Kadar <i>Volatile matter</i> (%)	≤15	4,7638	6,5859
Kadar Kalor (kal/g)	≥5000	5692,3813	5176,6667
Kadar Karbon (%)	≥77	84,4498	83,6649

3.3 Pengaruh Variasi *Power Level* pada Proses *Torefaksi*

Pengujian *torefaksi* kulit ketela ini menggunakan variasi *power level defrost, medium low, dan medium*. Pada proses *torefaksi* ini bahan baku kulit ketela yang digunakan massa 200 gram dengan menggunakan waktu tunggu 45 menit dan dilakukan pada suhu 250°C pada setiap prosesnya. Hasil arang dan *liquid* dari pengujian pengaruh temperatur proses *torefaksi* terlihat pada [Gambar 14](#) dan [15](#).



Gambar 14. Hasil arang variasi *power level*.



Gambar 15. Hasil *liquid* variasi *power level*.

Pengaruh variasi *power level* terhadap hasil *torefaksi* mempunyai pengaruh terhadap hasil bentuk dan massa arang, *liquid* yang dihasilkan dan gas. Untuk data hasil toreraksi kulit ketela variasi *power level* dengan suhu 250°C dan waktu tunggu 45 menit dapat dilihat pada Tabel 10.

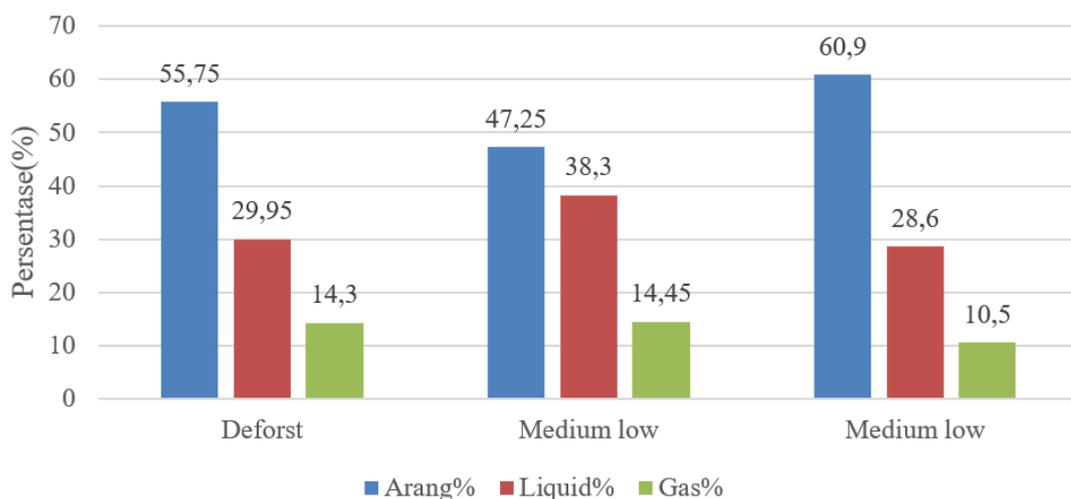
Tabel 10. Hasil *torefaksi* kulit ketela variasi *power level*.

Massa Awal (gram)	Suhu (°C)	Waktu (menit)	Power Level (watt)	Massa arang (gram)	Massa arang (% wt)	Massa liquid (gram)	Massa liquid (% wt)	Massa gas (gram)	Massa gas (% wt)
200	250	45	<i>Deforst</i> (1388,86)	111,5	55,75	59,9	29,95	28,6	14,3
200	250	45	<i>Medium low</i> (1380,6)	94,5	47,25	76,6	38,3	28,9	14,45
200	250	45	<i>Medium</i> (1333,2)	121,8	60,9	57,2	28,6	21	10,05

Proses *torefaksi* kulit ketela dengan menggunakan variasi *power level defrost, medium low, dan medium* ini mempengaruhi persentase dari produk arang yang dihasilkan. Persentase massa

arang paling tinggi didapatkan dengan menggunakan *power level medium* dengan persentase massa arang 60,9% dan persentase massa arang paling sedikit didapatkan dengan menggunakan *power level medium low* dengan persentase massa arang 47,25%. Dari hasil persentase produk arang tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi *power level* yang digunakan pada proses *torefaksi* maka persentase massa arang yang dihasilkan semakin banyak.

Persentase massa arang hasil *torefaksi* kulit ketela dengan pengaruh variasi *power level* dengan suhu 250°C dan waktu 45 menit dapat dilihat pada Gambar 16. Pada proses *torefaksi* kulit ketela dengan pengaruh variasi *power level* ini menghasilkan persentase massa sebesar 55,75% pada *power level deforst*, 47,25% pada *power level medium low* dan 60,9% pada *power level medium*. Semakin lama tinggi *power level* pada proses ini hasil arang yang dihasilkan semakin hitam dan massa arang semakin padat.



Gambar 16. Grafik persentase massa variasi *power level*.

Selain menghasilkan produk arang pada proses *torefaksi* ini juga menghasilkan produk *liquid* yang sudah terkondensasi dan juga gas yang terbuang karena tidak dapat terkondensasi. Adapun hasil persentase hasil *liquid* yang dapat terkondensasi sebesar 29,95% pada *power level deforst*, 38,3% pada *power level medium low* dan 28,6% pada *power level medium*. Dan hasil persentase gas yang tidak dapat terkondensasi yaitu sebesar 14,3% pada *power level deforst*, 14,45% pada *power level medium low* dan 10,5% pada *power level medium*.

a. Hasil Analisa Nilai Kalor

Dari hasil pengujian kalor pada Tabel 11 dapat diketahui bahwa nilai kalor tertinggi didapatkan pada *power level medium low* dengan nilai kalor 5176,6667 kal/gr. Namun, pada *power level deforst medium* tidak sesuai standar SNI. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa *power level* memiliki pengaruh terhadap nilai kalor yang dihasilkan. *Power level medium low* dengan nilai kalor yang dapat lolos sesuai standar dengan pengaruh watt yang dihasilkan, semakin rendah ataupun semakin tinggi watt yang dihasilkan akan mempengaruhi nilai kalor.

Tabel 11. Hasil analisa kalor proses *torefaksi microwave* dengan menggunakan variasi *power level*.

Massa Awal (gram)	Suhu (°C)	Waktu (menit)	Power Level (watt)	Hasil Analisa Nilai Kalor (kal/gr)
200	250	45	<i>Deforst</i> (1388,86)	4961,3441
200	250	45	<i>Medium low</i> (1380,6)	5176,6667
200	250	45	<i>Medium</i> (1333,2)	4499,2852

b. Hasil Analisa Nilai Proximate

Berdasarkan [Tabel 12](#) diketahui bahwa dengan pengujian pada variabel bebas *power level*, dapat dihasilkan semakin kecil *power level* maka kadar abu yang dihasilkan semakin besar sedangkan *volatile matter* atau zat menguap dan kadar air didapatkan berbanding terbalik. Namun, pada *power level medium low volatile matter* lebih besar 6,5859% dibandingkan *power level deforst* yang memiliki *volatile matter* 4,8111% dikarenakan kadar air *power level medium low* memiliki kadar air yang lebih banyak. Sedangkan kadar karbon pada *power level medium low* paling sedikit dengan kadar karbon 83,6649% dibandingkan pada *power level deforst* lebih banyak yaitu sebesar 85,3968%.

Tabel 12. Hasil analisa proximate *torefaksi microwave* dengan menggunakan variasi *power level*.

Massa Awal (gram)	Suhu (°C)	Waktu (menit)	Power Level (watt)	Hasil Analisa Proximate			
				Abu (%)	Air (%)	<i>Volatile Matter</i> (%)	<i>Fix Carbon</i> (%)
200	250	45	<i>Deforst</i> (1388,86)	5,4719	4,3478	4,8111	85,3698
200	250	45	<i>Medium low</i> (1380,6)	5,1783	4,5709	6,5859	83,6649
200	250	45	<i>Medium</i> (1333,2)	5,1655	4,322	4,6093	85,9033

Berdasarkan kondisi tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin rendah kadar abu yang dihasilkan semakin rendah pula zat menguap yang dihasilkan. Semakin rendah kadar air juga sejalan dengan semakin banyak kadar karbon yang dihasilkan. Namun, tetap melihat kadar zat menguap dan kadar air untuk melihat besaran kadar karbonnya. Berdasarkan [Tabel 12](#), [Tabel 10](#) tentang hasil pengujian kalor dan [Tabel 11](#) tentang pengujian proximate sesuai SNI No.1/6235/2000 pada *power level medium low*. Sedangkan pada pengujian *power level deforst* dan *medium* nilai kalor tidak memenuhi standar. Namun hasil uji proximate memenuhi standar.

Tabel 4.12 Hasil pengujian briket kulit ketela sesuai standar SNI No.1/6235/2000.

Parameter	Standar	Hasil Uji
	SNI	250°C/45 menit/ <i>Medium Low</i> (1380,6Watt)
Kadar Abu (%)	≤8	5,1783
Kadar Air (%)	≤8	4,5709
Kadar <i>Volatile matter</i> (%)	≤15	6,5859
Kadar Kalor (kal/g)	≥5000	5176,6667
Kadar Karbon (%)	≥77	83,6649

4. Kesimpulan

Hasil pengujian briket kulit ketela dengan variasi suhu pada proses torefaksi, variasi waktu pada proses *torefaksi* dan variasi *power level* pada proses *torefaksi* sesuai standar SNI No.1/6235/2000 dengan variasi waktu didapatkan pada waktu 30 menit dan 45 menit. Hasil pengujian briket kulit ketela sesuai standar SNI No.1/6235/2000 dengan variasi *power level* didapatkan pada *medium low*. Metode *torefaksi* pada penelitian ini hanya dilakukan pada kulit ketela dan belum dilakukan pada kulit umbi yang lain. Untuk itu dipenelitian mendatang dapat diterapkan pada umbi-umbian yang dapat menghasilkan unsur karbohidrat yang dapat di ekstraksi sebagai energi baru dan terbarukan.

5. Ucapan Terima Kasih

Terima kasih diucapkan kepada Program Studi Teknik Mesin dan LPPM Universitas Muhammadiyah Magelang yang telah mensupport penelitian ini

Referensi

- Alam, W. S. (2021). Kajian Pemanfaatan Limbah Biomassa Sebagai Katalis Heterogen Untuk Produksi Biodiesel Utilization Of Biomass Wastes As Heterogeneous Catalysts For *Online Article Assigment, October*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.28549.06886>
- Alamsyah, R., Siregar, N. C., & Hasanah, F. (2018). Peningkatan Nilai Kalor Pellet Biomassa Copeat sebagai Bahan Bakar Terbarukan dengan Aplikasi Torefaksi. *Warta Industri Hasil Pertanian*, 33(01), 17–23. <http://ejournal.kemenerin.go.id/ihp/article/view/3813>
- Apriyanto, A., Thohirin, M., Santoso, A. B., & Pambudi, A. (2022). Pelatihan Pembuatan Bahan Bakar Padat Dari Sampah Untuk Kebutuhan Rumah Tangga Sebagai Alternatif Pengganti Lpg. *Jurnal Abdi Masyarakat Saburai (JAMS)*, 3(01), 45–55. <https://doi.org/10.24967/jams.v3i1.1612>
- Arni, Labania, H. M., & Nismayanti, A. (2014). Studi Uji Karakteristik Fisis Briket Bioarang sebagai Sumber Energi Alternatif. *Online Jurnal of Natural Science*, 3(March), 89–98.
- Badan Pusat Statistik. (2020). *Luas Panen dan Produksi Tanaman Palawija di Kabupaten Magelang 2018-2020*. Badan Pusat Statistik. <https://magelangkab.bps.go.id/indicator/53/600/1/luas-panen-dan-produksi-tanaman-palawija-di-kabupaten-magelang.html>
- Mauritio, P. (2023). *Optimasi Proses Torefaksi Menggunakan Response Surface Methodology(RSM) Untuk Meningkatkan Karakteristik Pelet Kaliandra*. Program Studi Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung Bandar Lampung.
- Chen, W. H., & Kuo, P. C. (2010). A study on torrefaction of various biomass materials and its impact on lignocellulosic structure simulated by a thermogravimetry. *Energy*, 35(6), 2580–2586. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.02.054>

- Chen, W. H., & Kuo, P. C. (2011). Torrefaction and co-torrefaction characterization of hemicellulose, cellulose and lignin as well as torrefaction of some basic constituents in biomass. *Energy*, *36*(2), 803–811. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.12.036>
- Eka Putri, R., & Andasuryani, A. (2017). Studi Mutu Briket Arang Dengan Bahan Baku Limbah Biomassa. *Jurnal Teknologi Pertanian Andalas*, *21*(2), 143. <https://doi.org/10.25077/jtpa.21.2.143-151.2017>
- Fauzan, R. H. (2023). *Pengaruh Torefaksi Kulit Kakao Terhadap Karakteristik Bahan Bakar Padat Dengan Variasi Temperatur Menggunakan Reaktor Kontinu Tipe Tubular*. Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Bandar Lampung.
- Febrina, W. (2018). Potensi Sampah Organik Sebagai Bahan Baku Pembuatan Briket Bio Arang. *Unitex* *11*(1), 40–50.
- Fitri, R. A. (2022). *Analisis Radionuklida Cs-137, Co-60, dan I-131 Pada Sampel Tanah di Kota Tangerang Menggunakan Spektrometer Gamma*. Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi UIN Syarif Hidayatullah Jakarta.
- Fitriana, W., & Febrina, D. W. (2021). Analisis Potensi Briket Bio-Arang Sebagai Sumber Energi Terbarukan Analysis of Potency of Biocharcoal Briquettes As a Renewable Energy Source. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, *10*(2), 147–154. <http://dx.doi.org/10.23960/jtep-l.v10.i2.147-154>
- Haryanto, A., Hidayat, W., Triyono, S., Iryani, D. A., Amrul, Telaumbanua, M., & Sahari, B. (2019). *Black pellet Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Bahan Baku Proses Gasifikasi: Peningkatan Mutu Biomassa Melalui Torefaksi COMB (Counter Flow Multi-Baffle) Pyrolyzer*. 1–56. Laporan Penelitian, Badan Pengelola Dana Perkebunan Kelapa Sawit (BPDPKS), Universitas Lampung
- Hasan, A. A., Teknik, F., Lampung, U., & Lampung, B. (2020). *Efek Penekanan Dan Pemanasan Pada Proses Pembriketan Biomassa Hasil Torefaksi Terhadap Kualitas Briket*, Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Bandar Lampung.
- Indah Rizki Anugrah, M. P. (2020). *Kimia organik*. Jurusan Tadris Kimia, Fakultas Ilmu Tarbiyah Dan Keguruan, Iain Syekh Nurjati Cirebon.
- Irawan, A., Riadz, T., & Nurmalisa, N. (2015). Proses *Torefaksi* Tandan Kosong Kelapa Sawit Untuk Kandungan Hemiselulosa Dan Uji Kemampuan Penyerapan Air. *Reaktor*, *15*(3), 190. <https://doi.org/10.14710/reaktor.15.3.190-194>
- Iskandar, N., Nugroho, S., & Feliyana, M. F. (2019). Uji Kualitas Produk Briket Arang Tempurung Kelapa Berdasarkan Standar Mutu Sni. *Jurnal Ilmiah Momentum*, *15*(2). <https://doi.org/10.36499/jim.v15i2.3073>
- Izzah, A. (2019). *Sintesis Dan Karakterisasi Biochar Dari Kulit Singkong (Manihot Esculenta Crantz) Termodifikasi Surfaktan Sodium Dodecyl Sulfate (SDS) Sebagai Adsorben Terhadap Limbah Metilen Biru*. Program Studi Kimia, Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta. <https://dspace.uui.ac.id/bitstream/handle/123456789/16381/01-%20cover.pdf?sequence=2&isAllowed=y>.
- Kalsum, U. (2016). Pembuatan Briket Arang Dari Campuran Limbah Tongkol Jagung, Kulit Durian Dan Serbuk Gergaji Menggunakan Perekat Tapioka. *Distilasi*, *1*(1), 42–50.

- Li, H., Liu, X., Legros, R., Bi, X. T., Lim, C. J., & Sokhansanj, S. (2012). Torrefaction of sawdust in a fluidized bed reactor. *Bioresource Technology*, *103*(1), 453–458. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.10.009>
- Mafruddin, M., Handono, S. D., Mustofa, M., Mujianto, E., & Saputra, R. (2022). Kinerja bom kalorimeter sebagai alat ukur nilai kalor bahan bakar. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, *11*(1), 125–134. <https://doi.org/10.24127/trb.v11i1.2048>
- Mawarsih, E., Iswahyudi, S., Rahman, A., & Hermawan, R. (2023). Karakteristik Proksimat Briket Kulit Singkong Dan Tempurung Kelapa Dengan Variasi Perekat Tetes Tebu (Molase). *Journal Foundry*, *6*(2), 36–44.
- Nasution, Z. A., & Limbong, H. (2017a). Pembuatan Arang Cangkang Kelapa Sawit Dengan Proses Torefaksi . (Preparation of Palm Kernel Shell Charcoal Using Torrefaction Method). *Jurnal Industri Hasil Perkebunan*, *12*(1), 14. <https://doi.org/10.33104/jihp.v12i1.2799>
- Nasution, Z. A., & Limbong, H. P. (2017b). Pemanfaatan Arang Cangkang Kelapa Sawit sebagai Substitusi Carbon Black untuk Bahan Pengisi Kompon Karet. *Jurnal Riset Teknologi Industri*, *11*(1), 66. <https://doi.org/10.26578/jrti.v11i1.2167>
- Nur Faizin, Hegy Eka Anugrah, Zeni Ulma, Faizin, N., Eka Anugrah, H., Ulma, Z., Studi Teknik Energi Terbarukan, P., Teknik, J., Negeri Jember, P., & Mastrip BOX, J. P. (2022). Physical Analysis of Biogas Sludge Briquettes Using Randu Leaf Adhesive (Ceiba Pentandra). *Jurnal Teknologi Sumberdaya Mineral*, *3*(2), 2022.
- Octaviana, M. (2017). Optimasi Preparasi Mikrokrystalin Selulosa Dari Sekam Padi Menggunakan H₂O₂ Dan Naocl Untuk Sintesis CMC (Carboxymethyl Cellulose). *Skripsi, Universitas Indonesia, Depok*, 1–64.
- Pradana, M. A., Ardhyanta, H., & Farid, M. (2017). Pemisahan Selulosa dari Lignin Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Proses Alkalisasi untuk Penguat Bahan Komposit Penyerap Suara. *Jurnal Teknik ITS*, *6*(2), 413–416. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v6i2.24559>
- Puspitasari, M., Nandari, W. W., & Hadi, F. (2022). Perbandingan Penggunaan Aktivator NaOH dan KOH pada Pembuatan Karbon Aktif dari Kulit Singkong (Manihot utilissima) Comparison of the Use of NaOH and KOH Activators in the Manufacture of Activated Carbon from Cassava Peel (Manihot utilissima). *Jurnal Teknik Kimia, Fakultas Teknik Industri, UPN "Veteran" Yogyakarta*, *19*(2), 58–62.
- Ridwan, Fitri Ariani, H. (2022). Pembuatan Bahan Baku Pulp Dari Pelepah Pisang. *Saintis*, *3*(2), 28–36.
- Saverus. (2019). Microwave - Assisted Hydrothermal Carbonization of Corn Stalk for solid Biofuel Production: Optimization of Process Parameters and Characterization of Hydrochar. *Jurnal Kajian Pendidikan Ekonomi Dan Ilmu Ekonomi*, *2*(1), 1–19.
- Siswinarti, M., Pramono, P. B., & Septian, M. H. (2023). Pemanfaatan Mikroorganisme Lokal (Mol) Terhadap Kadar Asam Laktat, Nilai PH, Bahan Kering dan Nilai Fleigh Fermentasi Anaerob Kulit Singkong (Manihot Esculenta). *Jurnal Ilmiah Peternakan Terpadu*, *11*(1), 51–64.
- Sukoyo, A. (2019). Pengaruh Kosentrasi dan Jenis Aktivator Terhadap Karakteristik Karbon Aktif Mikroalga *Chlorella Vulgaris* dengan Aktivasi Kimia Menggunakan Iridiasi Gelombang Mikro. Magister Teknik Kimia, Universitas Brawijaya.

- Udyani, K., Purwaningsih, D. Y., Setiawan, R., & Yahya, K. (2019). Pembuatan Karbon Aktif dari Arang Bakau Menggunakan Gabungan Aktivasi Kimia dan Fisika dengan Microwave. *Jurnal IPTEK*, 23(1), 39–46. <https://doi.org/10.31284/j.iptek.2019.v23i1.479>
- Wahyudi, R., Amrul, A., & Irsyad, M. (2020). Karakteristik Bahan Bakar Padat Produk Torefaksi Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit Menggunakan Reaktor Torefaksi Kontinu Tipe Tubular. *INVOTEK: Jurnal Inovasi Vokasional dan Teknologi*, 20(2), 1–8. <https://doi.org/10.24036/invotek.v20i2.706>
- Widodo, S., & Dewi, R. P. (2023). Karakteristik Nilai Kalor, Laju Pembakaran dan Kadar Air Briket Limbah Kulit Singkong dan Bonggol Jagung. *SEMASTER" Seminar Nasional Riset Teknologi Terapan"*, 3(2).
- Aris, M.Z. & Amani, Y. (2023). Variasi Temperatur Torefaksi Pengaruh Terhadap Karakteristik dan Nilai Kalor dari Produk Briket Arang Eceng Gondok. *Machine: Jurnal Teknik Mesin*, 9(2), 25–30.
- Yusuf, M. A. (2023). *Karakteristik Biochar dari Sampah Daun di Lingkungan*. Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Bandar Lampung
-