

SKRIPSI

KAJI EKSPERIMENTAL TOREFAKSI LIMBAH KULIT
KETELA BERBASIS GELOMBANG MIKRO UNTUK
PRODUKSI BAHAN BAKAR PADAT TERBARUKAN



IFTIKAR FLOUR NADHIF

NPM: 22.0505.0006

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAGELANG
TAHUN 2023

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Permasalahan

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 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 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 ([Yasir Amani, 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 biomasa 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 diatas, proses torefaksi pembriketan menjadi salah satu faktor untuk pemanfantan 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.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka didapatkan beberapa rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh perbedaan suhu pada proses torefaksi menggunakan gelombang mikro (*microwave*) terhadap arang, nilai kalor, kadar air, kadar abu, kadar zat menguap atau *volatile matter*, dan kadar karbon atau *fixed carbon* dengan kulit ketela terhadap kelayakan SNI NO.1/6235/2000.
2. Bagaimana pengaruh perbedaan waktu tunggu pada proses torefaksi menggunakan gelombang mikro (*microwave*) terhadap arang, nilai kalor, kadar air, kadar abu, kadar zat menguap atau *volatile matter*, dan kadar karbon atau *fixed carbon* dengan kulit ketela terhadap kelayakan SNI NO.1/6235/2000.
3. Bagaimana pengaruh perbedaan *power* dari *microwave* (*power level*) pada proses torefaksi menggunakan gelombang mikro (*microwave*) terhadap arang, nilai kalor, kadar air, kadar abu, kadar zat menguap atau

volatile matter, dan kadar karbon atau *fixed carbon* dengan kulit ketela terhadap kelayakan SNI NO.1/6235/2000.

C. Tujuan

1. 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. Untuk mengetahui nilai kalor, kadar air, kadar abu, kadar zat menguap atau *volatile matter*, dan kadar karbon atau *fixed carbon* dengan menggunakan perbedaan waktu tunggu pada proses torefaksi terhadap kelayakan SNI NO.1/6235/2000.
3. Untuk mengetahui nilai kalor, kadar air, kadar abu, kadar zat menguap atau *volatile matter*, dan kadar karbon atau *fixed carbon* dengan menggunakan perbedaan *power* dari *microwave (power level)* pada proses torefaksi terhadap kelayakan SNI NO.1/6235/2000.

D. Manfaat

1. Diharapkan dapat menjadi bahan bakar alternatif yang berasal dari limbah pertanian.
2. Diharapkan dapat mengurangi ketergantungan dari penggunaan bahan bakar fosil

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. Penelitian Relevan

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 dkk 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 ditorefaksi. Peningkatan nilai kalori pada pros 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 menguapgas 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 dkk juga telah melakukan penelitian terhadap briket tempurung arang yang ada di salah satu perusahaan briket arang di Jawa tengah. Penelitian Iskandar bertujuan untuk mengetahui karakteristik briket arang produksi salah satu perusahaan briket arang di Jawa tengah, berdasarkan standar SNI No.1/6235/2000. 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).

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

Gambar 2.1 Standar SNI No.1/6235/2000

Pamudiarini dkk juga melakukan penelitian 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 kal/gr jika dibandingkan ampas teh sebesar 5.220 kal/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 (Pamudiarini et al., 2021).

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 (Benshlomo, 2023).

B. Dasar Teori

Torefaksi adalah pengolahan proses termokimia untuk bahan baku yang memiliki karbon dengan suhu 200°C - 300°C tanpa oksigen (Yasir Amani, 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:

1. 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.

2. Pengerinan

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

3. 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.

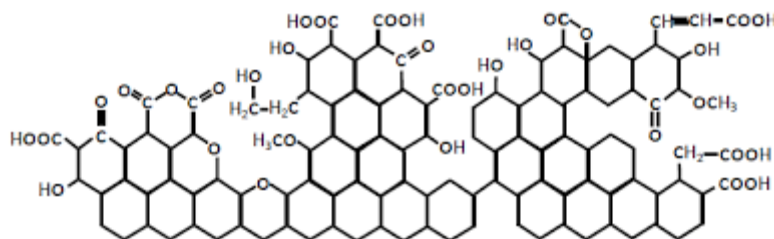
4. Pendinginan

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 memanaskan (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 2.2 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 temperature, yaitu *volatile matter* (VM), Fix carbon (FC), dan abu (ASH). (Wahyudi et al., 2020)

C. Kerangka Konsep

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 $E = h \times f$.

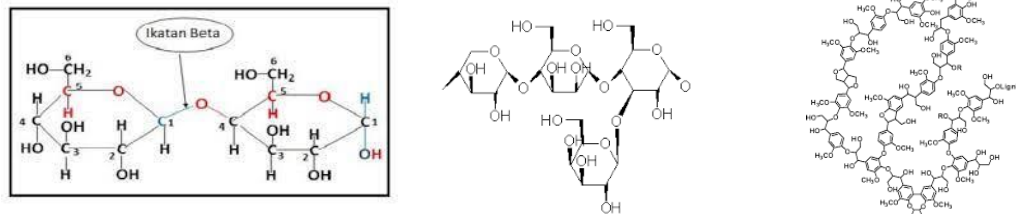
E = Energi foton (J)

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 $245 \cdot 10^7$ Hz. Maka berkaitan dengan energi foton yang dihasilkan pada *microwave* adalah sebesar $16.045 \cdot 10^{-28} J$.

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).



Gambar 2.3 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 2.4**.



Gambar 2.4 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 torafaksi (pembakaran tanpa O_2), polimer dari selulosa atau poliselulosa hanya berubah fase menjadi padat, dan rantai polimernya 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).

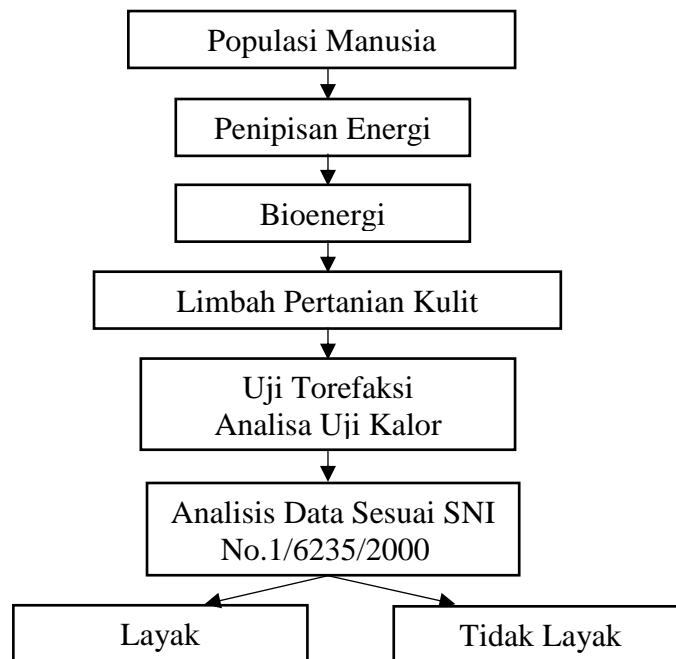
Proses torefaksi menggunakan energi gelombang mikro (*microwave*) memiliki beberapa kelebihan seperti waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu reaksi yang diinginkan lebih cepat, suhu yang dibutuhkan untuk mendapatkan kualitas produk yang sama lebih kecil, kebutuhan energi untuk proses dekomposisi biomassa 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 pirolisis. Pada penilitan Widodo dan Dewi mendapatkan hasil nilai kalor 5042,7615 , kadar air 6,9347 (Widodo & Dewi, 2023). Penelitian yang dilakukan Widodo

dan Dewi masih kurang mengacu pada standar SNI No.1/6235/2000, karena hanya menguji nilai kalor dan kadar air.

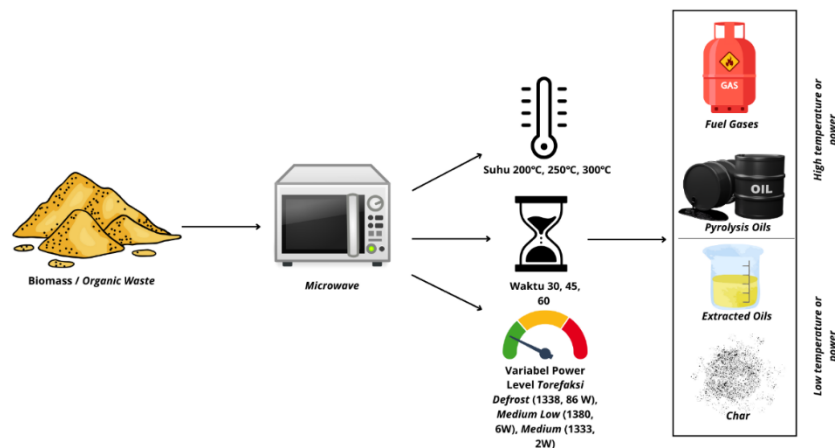
Peneliti dalam hal ini ingin menguji kualitas briket arang kulit ketela mengacu kepada standar SNI No.1/6235/2000 yang meliputi uji kadar air, kadar abu, kadar karbon, nilai kalor, dan kadar zat menguap atau *volatile matter*.



Gambar 2.5 Konsep Kelayakan Uji Kualitas Briket Sesuai SNI No. 1/6235/2000

Pada kerangka konsep ini yaitu menjelaskan penelitian menjelaskan 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 memanans. 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 2.5**.

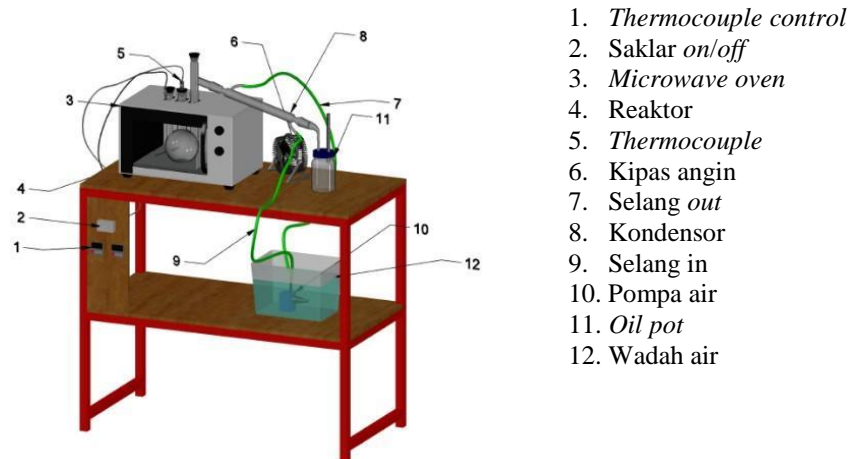


Gambar 2.6 Kerangka Konsep

BAB III METODE PENELITIAN

A. Material dan Alat

1. Skema Alat yang digunakan



1. *Thermocouple control*
2. Saklar *on/off*
3. *Microwave oven*
4. Reaktor
5. *Thermocouple*
6. Kipas angin
7. Selang *out*
8. Kondensor
9. Selang *in*
10. Pompa air
11. *Oil pot*
12. Wadah air

Gambar 3.1 Skema Alat uji

2. Alat – Alat yang digunakan

a. *Thermocouple control*

Thermocouple control adalah alat yang berfungsi untuk mengatur atau mengetahui suhu termometer. Spesifikasi *thermocouple* yang digunakan pada penelitian ini disajikan pada **Tabel 3.1**.

Tabel 3.1. Spesifikasi alat uji

Item	Spesifikasi
Model	: Autonics
<i>Type Controller</i>	: 22T3616
Akurasi	: $\pm 2^{\circ}\text{C}$
Tipe <i>Thermocouple</i>	: J, K
Tegangan Maksimal	: 220 Volt

Display thermometer yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Gambar 3.2 berikut



Gambar 3.2 *Thermocouple Control*

b. Saklar

Saklar on/off berfungsi untuk menghidupkan dan mematikan *microwave oven*.



Gambar 3.3 Saklar

c. *Microwave oven*

Microwave oven adalah alat yang berfungsi untuk memanaskan atau memanggang menggunakan gelombang mikro. Spesifikasi *microwave oven* yang digunakan pada penelitian ini, yaitu :

Item	Spesifikasi
Merk	: Kris
Sumber Daya	: 220 Volt 50 Hz
<i>Input</i> Daya	: 1400 Watt
<i>Output</i> Daya	: 900 Watt
Kapasitas Volume	: 23 Liter
Dimensi Luar	: 281 mm(H) × 483 mm(W) × 390 mm(D)
Dimensi Dalam	: 220 mm(H) × 340 mm(W) × 320 mm(D)
Frekuensi	: 2450 MHz



Gambar 3.4 *Microwave Oven*

d. Tabung reaktor

Tabung reaktor berfungsi sebagai wadah bahan uji saat melakukan proses pemanasan bahan di dalam *microwave oven*.

e. *Thermocouple*

Thermocouple adalah alat yang digunakan untuk mengukur suhu/temperatur. Pada penelitian ini *thermocouple* digunakan untuk mengukur suhu di dalam *microwave oven* dan suhu di dalam tabung reaktor.

f. Kipas angin

Kipas angin berfungsi untuk membantu pendinginan *microwave oven* agar tidak terjadi *overheat* pada *microwave oven*.

g. Kondensor

Kondensor adalah alat yang berfungsi untuk melakukan pendinginan gas hasil dari pirolisis yang kemudian gas tersebut berubah menjadi cair.

h. Pompa air

Pompa air berfungsi untuk mengalirkan air dari wadah/tangki air menuju kondensor untuk membantu proses pendinginan pada kondensor

i. *Oil pot*

Oil pot berfungsi untuk menampung cairan yang sudah sudah terkondensasi pada kondensor. *Oil pot* yang digunakan pada penelitian ini sebesar 500 ml.

j. Selang air

Selang air berfungsi untuk mengalirkan air dari wadah/tangki air ke kondensor dan dari kondensor kembali ke wadah/tangki air.

k. Wadah/tangki air

Wadah/tangki air digunakan untuk menampung air yang akan digunakan untuk membantu pendinginan pada kondensor.

l. Timbangan *Digital*

Timbangan berfungsi untuk menimbang bahan sebelum dan sesudah di uji dan menimbang hasil cairan yang diperoleh setelah diuji.

m. *Stopwatch*

Stopwatch berfungsi untuk menghitung waktu pada saat pengambilan data.

n. Toples plastik

Toples berfungsi untuk wadah bahan uji yang sudah dilakukan proses torefaksi pada *microwave oven*.

o. Botol sampel

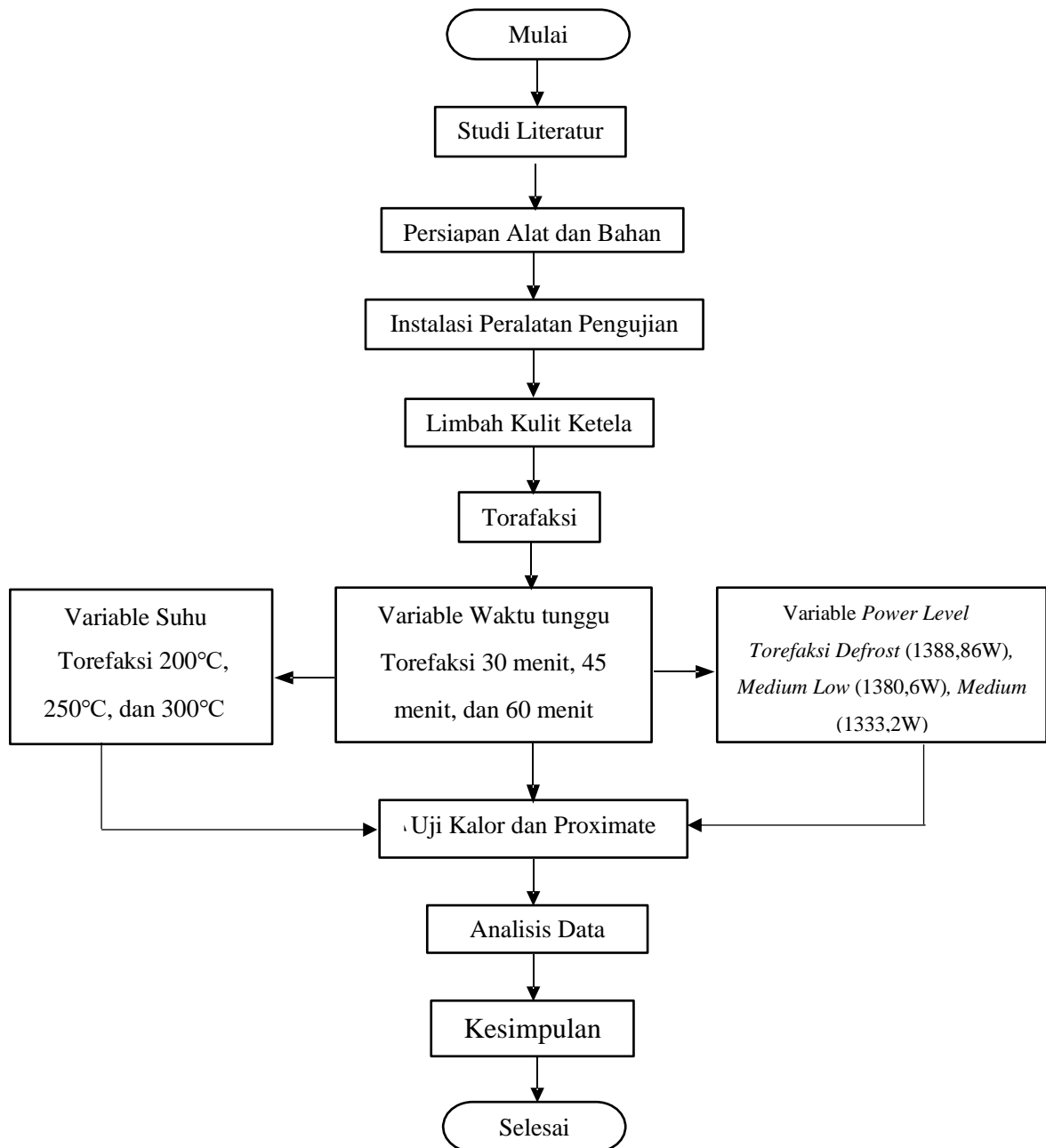
Botol sampel digunakan untuk wadah cairan hasil dari proses kondensasi. Botol sampel yang digunakan berukuran 100 ml.

B. Parameter Penelitian

Bahan yang digunakan pada penilitan 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*.

C. 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*, *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*.

D. Diagram Alir Penelitian

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari analisis penelitian yang sudah dilakukan didapatkan beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Pengaruh perbedaan suhu pada proses torefaksi menggunakan gelombang mikro (*microwave*) terhadap arang,
 - a. Nilai kalor 5176,6667 kal/g pada suhu 250°C dan 5680,9664 kal/g pada suhu 300°C yang sesuai SNI No.1/6235/2000 diatas ≥ 5000 , dengan demikian semakin tinggi suhu yang digunakan maka nilai kalor semakin tinggi.
 - b. Kadar air, kadar abu, kadar zat menguap atau *volatile matter*, dan kadar karbon atau *fixed carbon*. Kadar abu pada suhu 250°C 5,1783% dan 7,1192% pada suhu 300°C, begitupula zat menguap 6,5859% dan 6,4255% yang sesuai SNI No.1/6235/2000 $\leq 8\%$ untuk kadar abu dan untuk kadar $\leq 15\%$, dengan demikian 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, sehingga kualitas biomassa akan sesuai dengan standar SNI No.1/6235/2000

Dengan demikian hasil pengujian briket kulit ketela yang sesuai standar SNI No.1/6235/2000 adalah dengan variasi suhu didapatkan pada suhu 250°C dan 300°C, karena pada pengujian suhu 200°C, nilai kalor tidak memenuhi standar. Namun hasil uji proximate memenuhi standar.

2. Pengaruh perbedaan waktu tunggu pada proses torefaksi menggunakan gelombang mikro (*microwave*) terhadap arang,
 - a. Nilai kalor 5692,3813 kal/g pada waktu tunggu 30 menit dan 5176,6667 kal/g pada waktu tunggu 45 menit yang sesuai SNI No.1/6235/2000 diatas ≥ 5000 dapat disimpulkan bahwa waktu tunggu

memiliki pengaruh terhadap nilai kalor yang dihasilkan. Semakin sedikit waktu tunggu yang digunakan maka nilai kalor yang dihasilkan juga semakin besar

- b. Kadar air, kadar abu, kadar zat menguap atau *volatile matter*, dan kadar karbon atau *fixed carbon*. Kadar abu pada waktu tunggu 30 menit 6,4454% dan 5,1783% pada waktu tunggu 45 menit, begitupula zat menguap 4,7638% dan 6,5859% yang sesuai SNI No.1/6235/2000 $\leq 8\%$ untuk kadar abu dan untuk kadar $\leq 15\%$, 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, sehingga kualitas biomassa akan sesuai dengan standar SNI No.1/6235/2000

Dengan demikian hasil pengujian briket kulit ketela sesuai standar SNI No.1/6235/2000 dengan variasi waktu didapatkan pada waktu tunggu 30 menit dan 45 menit, karena pada pengujian 60 menit, nilai kalor tidak memenuhi standar. Namun hasil uji proximate memenuhi standar.

3. Pengaruh perbedaan power dari *microwave (power level)* pada proses torefaksi menggunakan gelombang mikro (*microwave*) terhadap arang,
 - a. Nilai kalor 5176,6667 kal/g pada *power level medium/1380,6watt* yang sesuai SNI No.1/6235/2000 diatas ≥ 5000 disimpulkan semakin rendah ataupun semakin tinggi watt yang dihasilkan akan mempengaruhi nilai kalor.
 - b. Kadar air, kadar abu, kadar zat menguap atau *volatile matter*, dan kadar karbon atau *fixed carbon*. Kadar abu *power level medium/1380,6watt* pada 5,1783% dan zat menguap 6,5859% yang sesuai SNI No.1/6235/2000 $\leq 8\%$ untuk kadar abu dan untuk kadar $\leq 15\%$, 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.

Hasil pengujian briket kulit ketela sesuai standar SNI No.1/6235/2000 dengan variasi *power level* didapatkan pada *medium low*/1380,6watt, karena pada pengujian *power level deforst* dan *medium* nilai kalor tidak memenuhi standar. Namun hasil uji proximate memenuhi standar.

B. Saran

Untuk penelitian selanjutnya pada torrefaksi bisa menggunakan 2 bahan uji atau lebih untuk membandingkan hasil dari torrefaksi beberapa bahan tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Akuntansi, J., Harga, A., Saluran, D. A. N., Guna, D., Yang, M., Di, T., & Periode, B. E. I. (2022). *Jurnal Akuntansi, Manajemen, dan Bisnis*.
- 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 Cocopeat sebagai Bahan Bakar Terbarukan dengan Aplikasi Torefaksi. *Warta Industri Hasil Pertanian*, 33(01), 17–23. <http://ejournal.kemenperin.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>
- Benshlomo, O. (2023). Optimasi Proses Torefaksi Menggunakan Response Surface Methodology(RSM) Untuk Meningkatkan Karakteristik Pelet Kaliandra. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย*, 4(1), 88–100.
- 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*.
- Febrina, W. (n.d.). *Briket Kulit Jengkol Dan Tempurung Kelapa*. 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*.
- 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-1.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.
- Hasan, A. A., Teknik, F., Lampung, U., & Lampung, B. (2020). *PADA PROSES PEMBRIKETAN BIOMASSA*.
- Indah Rizki Anugrah, M. P. (2020). *Kimia organik*.
- 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*. <https://Dspace.Uii.Ac.Id/Handle/123456789/16381>.
- Kalsum, U. (2016). Pembuatan Briket Arang Dari Campuran Limbah Tongkol Jagung, Kulit Durian Dan Serbuk Gergaji Menggunakan Perikat 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., Mujiyanto, 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)*. 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 Mikrokristalin 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. http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84865607390&partnerID=tZOtx3y1%0Ahttp://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=2LIMMD9FVXkC&oi=fnd&pg=PR5&dq=Principles+of+Digital+Image+Processing+fundamental+techniques&ots=HjrHeuS_
- 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). 11(March), 51–64.
- Sukoyo, A. (2019). Pengaruh Kosentrasi dan Jenis Aktivator Terhadap Karakteristik Karbon Aktif Mikroalga *Chlorella Vulgaris* dengan Aktivasi Kimia Menggunakan Iridiasi Gelombang Mikro.
- 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).

Yasir Amani, M. Z. A. (2023). *VARIASI TEMPERATUR TOREFAKSI PENGARUH TERHADAP KARAKTERISTIK DAN NILAI KALOR DARI PRODUK BRIKET ARANG ECENG GONDOK*. 12, 14–18.

Yusuf, M. A. (2023). *KARAKTERISTIK BIOCHAR DARI SAMPAH DAUN DI LINGKUNGAN*.