

**PERUBAHAN SIFAT KIMIA PELET TANDAN KOSONG KELAPA
SAWIT AKIBAT PROSES TOREFAKSI MENGGUNAKAN
REAKTOR PUTAR**

(Skripsi)

Oleh
CAHYO EKO PURNOMO



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

**PERUBAHAN SIFAT KIMIA PELET TANDAN KOSONG KELAPA
SAWIT AKIBAT PROSES TOREFAKSI MENGGUNAKAN
REAKTOR PUTAR**

Oleh
CAHYO EKO PURNOMO

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

pada

**Jurusan Teknik Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

ABSTRAK

PERUBAHAN SIFAT KIMIA PELET TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT AKIBAT PROSES TOREFAKSI MENGGUNAKAN REAKTOR PUTAR

Oleh

CAHYO EKO PURNOMO

Biomassa merupakan material organik yang dihasilkan dari proses fotosintesis. Salah satu biomassa dengan jumlah yang sangat melimpah adalah limbah yang dihasilkan dari pengolahan kelapa sawit antara lain tandan kosong kelapa sawit (TKKS). Pada dasarnya limbah TKKS hanya dijadikan mulsa alami atau hanya dibuang di kebun kelapa sawit. Cara pengolahan yang mengkonversikan menjadi pelet biomassa yang bentuk dan ukuran yang seragam masih sangat sedikit. Indonesia merupakan negara dengan tingkat kelembaban air yang tinggi sehingga pada produk biomassa berpotensi untuk menyerap air. Penyerapan biomassa sangat ditentukan dengan kemampuan menyerap air dari masing-masing material. Pada *biopellet* TKKS ini termasuk biomassa yang perlu suatu proses tambahan untuk membuat bioenergi pemanfaatannya lebih optimal, yaitu yang disebut proses torefaksi. Torefaksi merupakan salah satu proses termal untuk menjadikan pelet TKKS sebagai bahan bakar yang lebih optimum kualitasnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh torefaksi suhu dan waktu terhadap perubahan sifat kimia pelet TKKS.

Penelitian disusun dalam rancangan acak lengkap (RAL) faktorial dengan dua faktor yaitu, suhu dan waktu. Suhu torefaksi yang diterapkan adalah 220°C, 240°C, dan 260°C sedangkan waktu torefaksi adalah 15, 25, dan 35 menit. Proses torefaksi pelet dilakukan menggunakan tabung reaktor berdiameter 14 cm dan panjang 15 cm. Reaktor berputar dengan 24 rpm pada poros penyangga berkat bantuan pemutar dinamo. Pengujian pelet TKKS yang meliputi perubahan komposisi sifat kimia seperti hemiselulosa, selulosa, lignin, zat ekstraktif, serta beberapa sifat fisika seperti kadar air, kadar abu, dan daya serap air.

Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar air pelet menurun dari 10,04% menjadi 1,03%. Uji daya serap air juga menunjukkan bahwa pelet yang ditorefaksi lebih tahan terhadap air, sehingga akan sangat menguntungkan ketika pelet disimpan dalam jangka waktu yang lebih lama.

Dari hasil penelitian torefaksi pelet TKKS menggunakan tabung reaktor putar menunjukkan kondisi paling optimum adalah pada suhu perlakuan torefaksi 260°C dengan waktu 25 menit. Torefaksi menyebabkan penurunan yang signifikan pada kandungan selulosa dari 43,69% menjadi 23,03%, hemiselulosa mengalami penurunan yang kecil dari 19,27% menjadi 18,26%, dan mengalami peningkatan yang signifikan pada kandungan lignin yaitu dari 18,06% menjadi 38,34%. Torefaksi dengan tabung reaktor dapat meningkatkan kualitas pelet TKKS dan meningkatkan nilai tambah produk.

Kata kunci: *Biopellet*, biomassa, pelet TKKS, torefaksi.

ABSTRACT

CHANGES IN CHEMICAL PROPERTIES OF PALM OIL EMPTY FRUITS PELLETS DUE TO THE TOREFACTION PROCESS USING THE ROTARY REACTOR

By

CAHYO EKO PURNOMO

Biomass is organic material produced from the process of photosynthesis. One of the most abundant biomass is the waste generated from oil palm processing, including oil palm empty fruit bunches (OPEFB). EFB waste is used only as natural mulch or only disposed of in oil palm plantations. Very few processing methods that convert into biomass pellets of uniform shape and size. Biomass absorption is largely determined by the ability to absorb water from each material. Indonesia is a country with a high level of water humidity so that biomass products have the potential to absorb water. This OPEFB biopellet includes biomass which requires an additional process to make bioenergy utilization more optimally, which is called the torrefaction process. Torrefaction is one of the thermal processes to make OPEFB pellets as fuel with more optimum quality. This study aims to determine the effect of temperature and time torrefaction on changes in the chemical properties of EFB pellets.

The study was arranged in a completely randomized design (CRD) with two factors, namely, temperature and time. The torrefaction temperatures applied were 220°C, 240°C, and 260°C while the torrefaction times were 15, 25, and 35 minutes. The pellet torrefaction process was carried out using a tube reactor with a diameter of 14 cm and a length of 15 cm. The reactor rotates at 24 rpm on the support shaft thanks to the help of a dynamo. Testing of OPEFB pellets which includes changes in the composition of chemical properties such as hemicellulose, cellulose, lignin, extractive substances, as well as some physical properties such as water content, ash content, and water absorption.

The results showed that the water content of the pellets decreased from 10.04% to 1.03%. The water absorption test also showed that the torrefaction pellets were more resistant to water, so it would be very beneficial when the pellets were stored for a longer period of time.

From the results of research on torrefaction of EFB pellets using a rotary reactor tube, it shows that the most optimum condition is the torrefaction treatment temperature of 260°C with a time of 25 minutes. Torrefaction caused a significant decrease in the cellulose content from 43.69% to 23.03%, hemicellulose decreased slightly from 19.27% to 18.26%, and experienced a significant increase in lignin content from 18.06% to 38.34%. Torrefaction with reactor tubes can improve the quality of EPEFB pellets and increase the added value of the product.

Keywords: Biopellets, biomass, OPEFB pellets, torrefaction.

Judul Skripsi : **PERUBAHAN SIFAT KIMIA PELET TANDAN KOSONG
KELAPA SAWIT AKIBAT PROSES TOREFAKSI
MENGUNAKAN REAKTOR PUTAR**

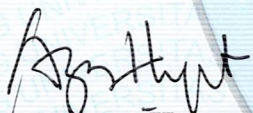
Nama : **Cahyo Eko Purnomo**


NPM : **1654071019**

Jurusan : **Teknik Pertanian**

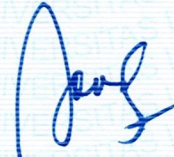
Fakultas : **Pertanian**




Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P.
NIP. 196505271993031002


Febryan Kusuma Wisnu, S.T.P., M. Sc
NIP. 199002262019031012

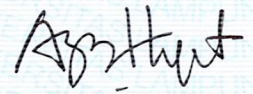
2. Ketua Jurusan Teknik Pertanian


Dr. Ir. Sandi Asmara, M.Si.
NIP. 196210101989021002

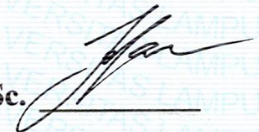
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : **Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P.**



Sekretaris : **Febryan Kusuma Wisnu, S.T.P., M. Sc.**



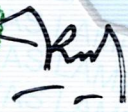
Penguji
Bukan Pembimbing : **Dr. Mareli Telaumbanua, S.T.P., M.Sc**



2. Dekan Fakultas Pertanian



Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si.
NIP. 196110201986031002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 27 Januari 2022

PERNYATAAN HASIL KARYA

Saya adalah Cahyo Eko Purnomo NPM 1654071019 Dengan ini menyatakan bahwa apa yang tertulis dalam karya ilmiah ini adalah hasil karya saya yang dibimbing oleh Komisi Pembimbing, 1) Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P. dan 2) Febryan Kusuma Wisnu, S.T.P., M. Sc. Berdasarkan pada pengetahuan dan informasi yang telah saya dapatkan. Karya ilmiah ini berisi material yang dibuat sendiri dan hasil rujukan beberapa sumber lain (buku, jurnal, dll) yang telah dipublikasikan sebelumnya atau dengan kata lain bukanlah hasil dari plagiat karya orang lain.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari terdapat kecurangan dalam karya ini, maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, 19 April 2022

Yang membuat pernyataan



The image shows a handwritten signature in black ink over a red and yellow postage stamp. The stamp is a 2000 Rupiah meter seal with the Garuda Pancasila emblem and the text 'METERAI TEMPEL' and 'C36AJX171806948'.

Cahyo
NPM. 1654071019

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Desa Belimbing Sari, Kecamatan Jabung Lampung Timur, 23 September 1997, anak kelima dari pasangan Sarkam (Ayah) dan Maryuni (Ibu). Penulis menempuh Sekolah Dasar di SDN Belimbing Sari Lampung Timur pada tahun 2004 sampai dengan tahun 2010. Penulis menyelesaikan Pendidikan Menengah Pertama di SLTP PGRI 7 Jabung pada tahun 2013. Penulis melanjutkan Sekolah Menengah Atas pada tahun 2013 di SMA Negeri 1 Candipuro Lampung Selatan sampai dengan tahun 2016. Penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Mandiri Simanila (Mandiri).

Penulis juga aktif pada organisasi tingkat jurusan, yaitu sebagai anggota bidang DANUS (Dana dan Usaha) PERMATEP pada tahun 2017. Penulis melaksanakan Praktik Umum PTPN VII Sinar Banten Kecamatan Bekri, Lampung Tengah selama 30 hari mulai tanggal 1 Juli s.d. 30 Juli 2019. Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Wonosari, Kecamatan Mesuji Timur, Kabupaten Mesuji selama 40 hari mulai tanggal 2 Januari 2020 sampai dengan 10 Februari 2020.

“Ku persembahkan karya ini kepada”

Bapakku, Mamakku tersayang, kakak-kakakku tercinta Sutyowati, Fitriyati, Fitriyah (si kembar) dan Dedi Sujarwo serta keluarga besar Srie Subarti yang selalu memberi doa, semangat dan dukungannya”

Serta

“Kepada Almamater Tercinta”
Teknik Pertanian Universitas Lampung 2016
Adhirajasa Gadjahsora

SANWACANA

Puji syukur kehadiran Allah SWT karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini. Shalawat beserta salam semoga selalu tercurah kepada Nabi Muhammad SAW yang senantiasa kita nantikan syafaat-Nya di Yaumul akhir kelak.

Skripsi yang berjudul **“Perubahan Sifat Kimia Pelet Tandan Kosong Kelapa Sawit Akibat Proses Torefaksi Menggunakan Reaktor Putar** adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) di Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

Penulis memahami dalam menyusun skripsi ini banyak rintangan dan tantangan, suka duka serta pembelajaran yang didapat. Berkat ketulusan doa, semangat, motivasi dan dukungan orang tua serta berbagai pihak penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si., selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Ir. Sandi Asmara, M.Si., selaku Ketua Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P., selaku pembimbing Utama yang telah memberikan bimbingan, dan saran, dalam proses penyelesaian skripsi, serta memberikan motivasi dalam pembuatan skripsi ini.
4. Bapak Febryan Kusuma Wisnu, S.T.P., M. Sc. selaku pembimbing kedua yang telah memberikan bimbingan, saran, dan kritik dalam menyelesaikan skripsi ini.

5. Bapak Dr. Mareli Telaumbanua, S.T.P., M.Sc. selaku pembahas yang telah memberikan bimbingan dan saran sebagai perbaikan skripsi ini.
6. Bapak dan Ibu ku tersayang yang telah memberikan doa, kasih sayang dukungan moral dan material.
7. Teman-teman SMAN 1 Candipuro yang sekarang sedang berjuang di masing-masing- masing penjuru.
8. Kelompok Praktik Umum PTPN VII Bekri yang selalu bergembira bersama-sama.
9. Keluarga besar Teknik Pertanian Univeristas Lampung, terkhusus angkatan 2016 (Adhirajasa Gajhasora) atas segala bantuan, dukungan, semangat dan motivasi.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Akhir kata penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca pada umumnya.

Bandar Lampung, 27 Januari 2022

Penulis,

Cahyo Eko Purnomo

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	v
I. PENDAHULUAN	7
1.1. Latar Belakang	7
1.2. Rumusan Masalah.....	9
1.3. Tujuan Penelitian	9
1.4. Manfaat Penelitian	9
1.5. Hipotesis	9
1.6. Batasan Masalah	10
II. TINJAUAN PUSTAKA	11
2.1. Kelapa Sawit	11
2.2. Limbah Kelapa Sawit.....	11
2.3. Biomassa	14
2.4. Pelet Biomassa TKKS.....	15
2.5. Torefaksi	16
2.6. Selulosa.....	18
2.7. Hemiselulosa.....	21
2.8. Lignin.....	21
2.9. Kadar Air	23

III. METODE PENELITIAN.....	24
3.1. Waktu dan Tempat.....	24
3.2. Alat dan Bahan.....	24
3.2.1. Alat.....	24
3.2.2. Bahan.....	25
3.3. Metode Penelitian	26
3.4. Analisis Anova.....	27
3.5. Prosedur Penelitian	28
3.5.1. Persiapan Alat dan Bahan	28
3.5.2. Penyaringan.....	28
3.5.3. Proses Torefaksi	28
3.5.4. Pengujian dan Analisis Sifat Kimia Pelet TKKS.....	29
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	32
4.1. Sampel Pelet Torefaksi Tandan Kosong Kelapa Sawit	32
4.2. Karakteristik Pelet TKKS sebelum Torefaksi.....	35
4.3. Pengujian Sampel Pelet TKKS Torefaksi.....	35
4.3.1. Kadar Air.....	35
4.3.2. Daya Serap Air	37
4.3.3. Hemiselulosa	40
4.3.4. Selulosa	42
4.3.5. Lignin	44
4.3.6. Kadar Abu	46
V. KESIMPULAN	49
5.1. Kesimpulan	49
5.2. Saran	49
DAFTAR PUSTAKA	50
LAMPIRAN.....	54

DAFTAR TABEL

Tabel	Teks	Halaman
1.	Produksi Kelapa Sawit (TBS) di Indonesia	11
2.	Kandungan Komposisi Zat Kimia TKKS	16
3.	Kombinasi Perlakuan Percobaan dengan Pemanas Kompor	26
4.	Rancangan Acak Lengkap Sampel Pelet TKKS	27
5.	Karakteristik Pelet TKKS sebelum Torefaksi.....	35
6.	Hasil Uji Anova Perlakuan Suhu dan Lama Waktu Torefaksi Pelet TKKS terhadap Kadar Air Pelet Torefaksi	36
7.	Hasil Uji Lanjut (BNT) Pengaruh Faktor Waktu terhadap Kadar Air Pelet Torefaksi.....	36
8.	Hasil Uji Anova Perlakuan Suhu dan Lama Waktu Torefaksi Pelet TKKS terhadap Daya Serap Air Tertinggi pada 30 hari Pelet Torefaksi	37
9.	Hasil Uji Anova Pengaruh Perlakuan Faktor Suhu dan Waktu Pelet TKKS terhadap Daya Serap Air Pelet Torefaksi.....	38
10.	Hasil Uji Anova Perlakuan Suhu dan Lama Waktu Pelet TKKS terhadap Kadar Hemiselulosa Pelet Torefaksi	40
11.	Hasil Uji Anova Pengaruh Suhu dan Lama Waktu Pelet TKKS terhadap Kadar Hemiselulosa Pelet Torefaksi	41
12.	Hasil Uji Anova Pengaruh Uji Perlakuan Suhu dan Lama Waktu Torefaksi Pelet TKKS terhadap Kadar Selulosa Pelet Torefaksi	42
13.	Hasil Uji Lanjut (BNT) Pengaruh Faktor Suhu terhadap Kadar Selulosa Pelet Torefaksi	43
14.	Hasil Uji Anova Pengaruh Perlakuan Suhu dan Lama Waktu Torefaksi Pelet TKKS terhadap Kadar Lignin Pelet Torefaksi	44

15. Hasil Uji Lanjut (BNT) Pengaruh Faktor Suhu terhadap Kadar Lignin Pelet Torefaksi	45
16. Hasil Uji Anova Pengaruh Perlakuan Suhu dan Lama Waktu Torefaksi Pelet TKKS terhadap Kadar Abu Pelet Torefaksi	46
17. Hasil Uji Lanjut (BNT) Pengaruh Faktor Suhu terhadap Kadar Abu Pelet Torefaksi	47

LAMPIRAN

18. Data Kadar Air Pelet Tkks Torefaksi dan Tanpa Torefaksi.....	55
19. Data Daya Serap Air Pelet TKKS Torefaksi dan Tanpa Torefaksi	56
20. Sifat Kimia Pelet TKKS Torefaksi dan Tanpa Torefaksi	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Teks	Halaman
1.	Bagan Proses Pengolahan Kelapa Sawit.....	12
2.	Tandan Kosong Kelapa Sawit.....	13
3.	Pelet Tandan Kosong Kelapa Sawit.....	15
4.	Skematik Reaktor Torefaksi Tandan Kosong Kelapa Sawit.....	17
5.	Komponen-komponen Sifat Kimia Penyusun Tanaman.....	18
6.	Ikatan alpha (α) selulosa.	19
7.	Ikatan Betha (β) selulosa.....	20
8.	Ikatan Gamma (γ) selulosa.....	20
9.	Struktur Hemiselulosa.....	21
10.	Tiga Komponen Utama Monolignol dengan Nomenklatur Atom C.....	22
11.	Ikatan Utama dalam Struktur Lignin pada Softwood.	23
12.	Alat Torefaksi.....	25
13.	Diagram Alir Penelitian.	31
14.	Pelet TKKS sebelum Proses Torefaksi.	32
15.	Proses Torefaksi Pelet TKKS Menggunakan Pemanas Kompur	33
16.	Pelet TKKS setelah Proses Torefaksi Pemanas Kompur dengan Suhu 220° C dan Waktu 15, 25, 35 menit	33
17.	Pelet TKKS setelah Proses Torefaksi Pemanas Kompur dengan Suhu 240° C dan Waktu 15, 25, 35 menit	34
18.	Pelet TKKS setelah Proses Torefaksi Pemanas Kompur dengan Suhu 260° C dan Waktu 15, 25, 35 menit	34
19.	Diagram Kadar Air.....	37
20.	Grafik Daya Serap Air Pelet Torefaksi pada Suhu 220°C dan Rata-rata Rh Sebesar 78%.	38

21. Grafik Daya Serap Air Pelet Torefaksi pada Suhu 240°C dan Rata-rata Rh Sebesar 78%	39
22. Grafik Daya Serap Air Pelet Torefaksi pada Suhu 260°C dan Rata-rata Rh 78%	39
23. Diagram Pengaruh Suhu dan Waktu terhadap Kadar Hemiselulosa Pelet TKKS Torefaksi.....	41
24. Diagram Pengaruh Suhu dan Waktu terhadap Kadar selulosa Pelet TKKS Torefaksi.....	43
25. Diagram Pengaruh Suhu dan Waktu terhadap Kadar Lignin Pelet TKKS Torefaksi.....	45
26. Diagram Pengaruh Suhu dan Waktu terhadap Kadar Abu Pelet TKKS Torefaksi.....	47

LAMPIRAN

27. Pasir dan Pecahan dari Pelet TKKS Setelah Torefaksi.....	58
28. Sampel Pelet TKKS Setelah Torefaksi.....	58
29. Proses pengujian Zat Ekstraktif Pelet TKKS Setelah Torefaksi.....	59
30. Proses Penyaringan Pelet TKKS Setelah Torefaksi.....	59
31. Proses Pengukuran PH Air Setelah Penyaringan.....	60
32. Pelet TKKS yang sudah diabukan.....	60
33. Mesin Pengabuan (Tanur)	61
34. Mesin Pengovenan	61

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara dengan iklim tropis yaitu ditandai dengan banyaknya daratan yang dikelilingi oleh laut dan samudra, sifat iklim ini lembab dan banyak mendatangkan hujan. Berdasarkan letak geografis wilayah Indonesia dipengaruhi oleh angin yang disebut angin muson/monsun. Angin muson terbagi menjadi dua yaitu, angin muson timur mengakibatkan musim kemarau dan angin muson barat yang mengakibatkan musim penghujan. Indonesia merupakan negara dengan tingkat kelembaban air yang tinggi sehingga pada produk biomassa berpotensi untuk menyerap air. Penyerapan biomassa sangat ditentukan dengan kemampuan menyerap air dari masing-masing material. Pada kondisi kelembaban yang tinggi pelet biomassa memiliki kekurangan seperti daya serap air yang tinggi sehingga tidak dapat disimpan dalam jangka waktu yang lama.

Pada beberapa pengolahan biomassa diperlukan proses pengeringan dan penyimpanan, hal ini dilakukan agar biomassa tetap dalam kondisi yang bagus serta tahan terhadap iklim, terutama iklim yang ada di Indonesia. Metode pengeringan yang diketahui oleh orang-orang pada jaman dahulu yaitu pengeringan menggunakan sinar matahari secara langsung. Namun kendala terjadi saat musim penghujan tiba, dimana sinar matahari sering tertutup awan sehingga menghambat proses pengeringan. Salah satu produk biomassa TKKS yaitu *biopellet* yang membutuhkan pengeringan tambahan karena masih memiliki beberapa masalah yaitu kerapatan rendah, ukuran yang tidak seragam, mudah menyerap air (*hidroskopis*), dan lama waktu penyimpanan, diperlukan cara untuk mengurangi beberapa kendala pelet biomassa ini.

Salah satu cara yang dapat digunakan dalam membantu penanganan masalah *biopellet* yaitu dengan cara pirolisis. Dalam teknologi yang saat ini sedang dikembangkan, untuk mengubah biomassa pelet menjadi bahan bakar padat yang berkualitas dan ramah lingkungan di perlukan proses tambahan seperti pirolisis, proses pirolisis pada temperatur relatif rendah yang dikenal dengan nama torefaksi (*torrefaction*) (Wahyudi *et al.*, 2020).

Torefaksi merupakan salah satu metode efektif yang bisa pada pengolahan biomassa menjadi bahan bakar padat. Pada proses torefaksi biomassa dipanaskan secara perlahan dalam keadaan inert atau tanpa oksigen dengan rentang suhu serta waktu tertentu. Selama proses torefaksi berlangsung, komponen hemiselulosa akan terdegradasi dan zat-zat volatil terlepas dari biomassa. Pengurangan hemiselulosa dan zat-zat volatil akan meningkatkan nilai kalor dengan memaksimalkan *mass yield* dan *energy yield* dari produk padatan yang dihasilkan (Basu, 2013).

Pemanfaatan bahan bakar *biopellet* mempunyai *konstrain* atau penghambat, yaitu tingginya kandungan air (*moisture*) 60% dan polusi yang dihasilkan sehingga dibutuhkan perlakuan tambahan seperti torefaksi. Berdasarkan kendala - kendala tersebut, maka perlu suatu metode untuk meningkatkan kualitas *biopellet* TKKS sebagai salah satu alternatif bahan bakar yang ramah lingkungan. Torefaksi yang dilakukan dapat menggunakan alat tradisional seperti disangrai menggunakan gerabah atau menggunakan teknologi yang sudah dikembangkan, seperti dengan tabung torefaksi reaktor putar. Dari proses torefaksi tersebut perlu dilakukannya analisis mengenai beberapa sifat yang terkandung didalam *biopellet* TKKS.

Bergman dalam Irawan (2015) menyatakan torefaksi adalah proses pengolahan secara termokimia untuk bahan baku yang mengandung karbon seperti biomassa TKKS. Torefaksi berlangsung pada tekanan atmosfer dengan rentang temperatur (200-350°C). Penggunaan teknologi ini, diharapkan limbah tandan kosong kelapa sawit ini sebagai bahan baku energi biomassa akan menjadi alternatif bagi industri kelapa sawit. Pengolahan bahan baku pelet juga akan sangat strategis di dalam menyediakan energi alternatif yang ramah lingkungan.

1.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimana cara mengurangi kelemahan yang dimiliki pelet TKKS seperti, tingginya kandungan air, tingginya penyerapan air, dan sifat kimia yang berkaitan ?
2. Bagaimana pengaruh proses suhu dan waktu torefaksi mempengaruhi perubahan sifat-sifat kimia dan kualitas pelet ?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis perubahan sifat kimia yang terjadi pada pelet TKKS setelah dilakukan proses torefaksi menggunakan tabung reaktor putar dengan suhu 220°C, 240°C, 260°C dan waktu 15, 25, 35 menit
2. Memperoleh peningkatan kualitas pelet limbah TKKS sebagai bahan bakar yang dapat berkelanjutan dengan proses torefaksi.

1.4. Manfaat Penelitian

Untuk memperoleh data perubahan sifat-sifat seperti kadar air, kadar abu, daya serap air, hemiselulosa, selulosa dan lignin yang diakibatkan torefaksi menggunakan tabung reaktor putar dengan suhu 220°C, 240°C, 260°C dan waktu 15, 25, 35 menit pada pelet berupa material padat dengan densitas energi yang tinggi.

1.5. Hipotesis

Adapun hipotesis dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Hipotesis(H0)
Tidak terdapat pengaruh yang signifikan dari proses torefaksi menggunakan tabung reaktor putar dengan suhu dan waktu tertentu.
2. Hipotesis (H1).
Terdapat pengaruh yang signifikan dari proses torefaksi menggunakan tabung reaktor putar dengan suhu dan waktu tertentu.

1.6. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini hanya mengamati perubahan sifat kadar air, kadar abu, daya serap air, hemiselulosa, selulosa dan lignin pelet TKKS yang diakibatkan dari proses torefaksi menggunakan kompor.
2. Penelitian ini hanya mengamati perubahan sifat dari parameter pengamatan pada perbedaan faktor suhu dan waktu pelet TKKS yang diakibatkan dari proses torefaksi menggunakan kompor.
3. Penelitian ini tidak menggunakan variasi putaran sebagai parameter pengamatan pelet TKKS yang diakibatkan dari proses torefaksi menggunakan kompor.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kelapa Sawit

Perkembangan kelapa sawit di Indonesia yang sangat cepat, salah satunya disebabkan oleh produktivitas sawit yang cukup tinggi dibandingkan dengan tanaman lain penghasil minyak nabati. Sebagai contoh satu hektar tanaman kelapa sawit dapat menghasilkan 7,7-9,1 ton minyak kasar sawit (Dirjen Perkebunan, 2019).

Tabel 1. Produksi Tandan Buah Segar (TBS) di Indonesia

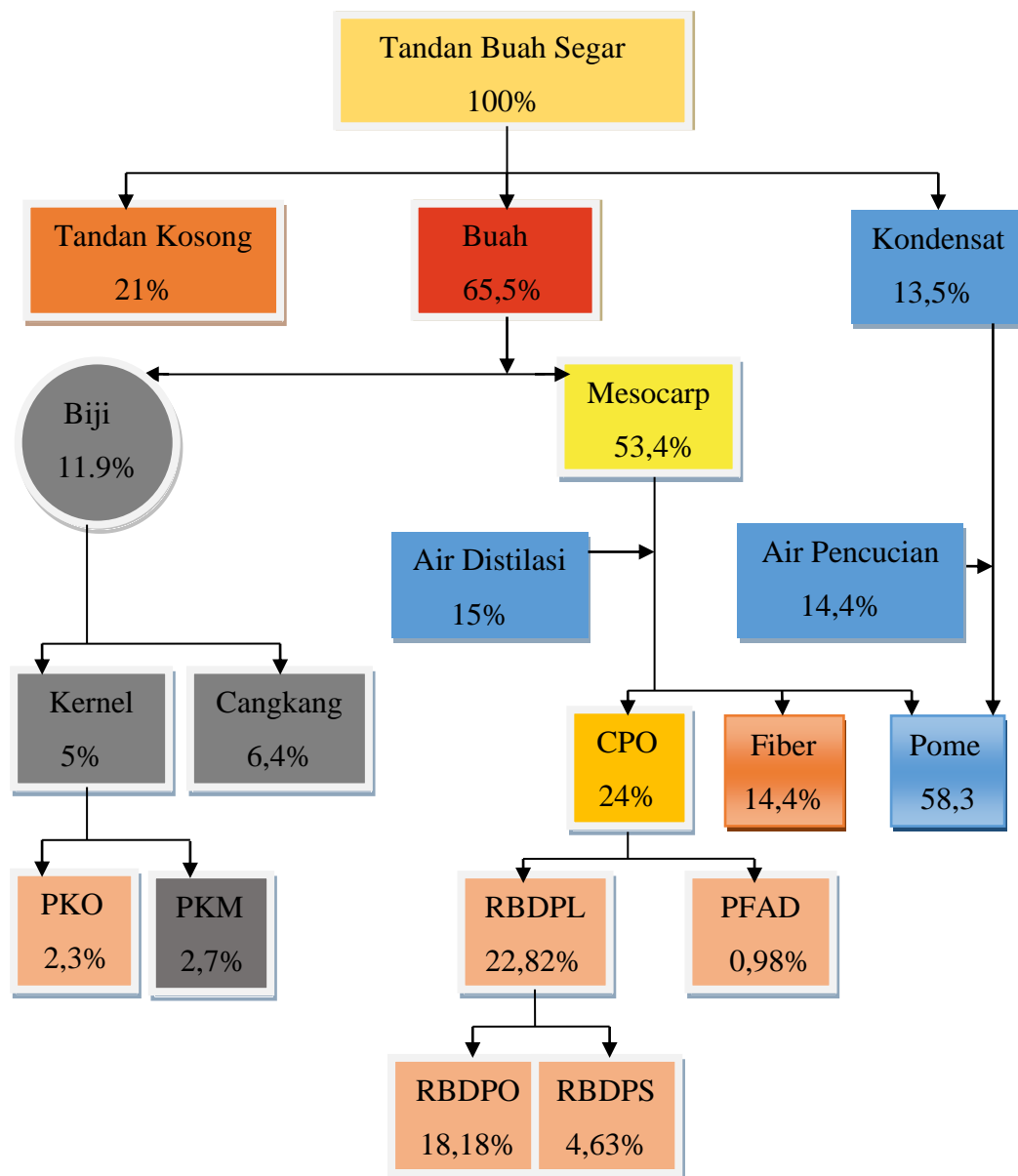
Provinsi	Produksi Tanaman Perkebunan (Ribu Ton)			
	2015	2016	2017	2018
Sumatera Utara	5.193.135	5.440.594	5.119.497	5.370.980
Riau	8.059.846	8.506.646	8.113.852	8.586.379
Jambi	1.794.874	1.910.028	1.849.969	2.036.799
Sumatra Selatan	2.821.938	3.063.197	3.199.481	3.417.140
Kalimantan Timur	1.586.624	1.780.509	2.840.710	2.966.438
Kalimantan Barat	2,168.136	2.346.241	2.658.702	2.929.360

Sumber: (Dirjen Perkebunan, 2019)

Produksi pengolahan tandan sawit segar (TBS) yang tersebar di beberapa wilayah di Indonesia ditunjukkan pada Tabel 1. Total produksi pengolahan (TBS) di Indonesia yaitu sebesar 42.869.429 Ton, wilayah yang memiliki luas lahan terbesar yaitu di provinsi Riau dengan 2.806.349 Ha.

2.2. Limbah Kelapa Sawit

Dalam produksi kelapa sawit, ada berbagai proses pengolahan dengan skala yang cukup besar. Pada proses pengolahan tersebut selain menghasilkan minyak kelapa sawit *Cruit Palm Oil* (CPO) nantinya juga akan dihasilkan berbagai limbah buangan, yang berupa limbah cair ataupun limbah padat. Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan salah satu limbah padat yang dihasilkan dari pengolahan ini, seperti pada Gambar 2.



Gambar 1. Bagan Proses Pengolahan Kelapa Sawit.

Sumber : (Hambali, et al, 2010)

Kelapa sawit yang sudah melewati beberapa tahap seperti penimbangan, penyortiran dan tahap selanjutnya yaitu proses perebusan dari Gambar 1. Tandan buah segar (TBS) direbus menggunakan alat yang bernama *Sterilizer*. Kemudian masuk proses perontokan buah menggunakan alat *thresher* maka buah akan terpisah dari tandannya. Buah selanjutnya masuk proses pengolahan menjadi *Cruit Palm Oil* (CPO) sedangkan limbah padat berupa tandan kosong kelapa sawit (TKKS) akan dialihkan menjadi mulsa atau pupuk di lahan kelapa sawit.

Serat kelapa sawit dapat menjadi bahan yang dapat diolah menjadi kertas dan bahan bakar boiler. Cangkang kelapa sawit dapat diolah menjadi beberapa produk yang bernilai ekonomis tinggi, yaitu karbon aktif, fenol, asap cair, tepung tempurung dan briket arang. Prastowo dalam (Fernando and Helwani, 2016) menyatakan pelepah kelapa sawit dapat digunakan sebagai pakan ternak yang memiliki kandungan nutrisi yang baik.

Potensi energi TKKS sekitar 138,3 juta GJ per tahun dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi khususnya di sektor industri. Dimana biomassa mempunyai potensi cadangan energi total sebesar 756,1 juta GJ. Sumber energi dari biomassa diharapkan dapat menekan penggunaan energi fosil yang mana penggunaannya meningkat setiap tahunnya. Konsumsi energi di Indonesia mencapai 1.079 juta setara barel minyak pada tahun 2012 (Fernando and Helwani, 2016).



Gambar 2. Tandan Kosong Kelapa Sawit

2.3. Biomassa

Energi biomassa telah ada sejak lama, bahkan sebelum orang mengetahui tentang energi terbarukan atau sumber energi alternatif. Biomassa merupakan bahan organik yang dihasilkan dari proses fotosintesis, baik berupa produk maupun buangan. Adapun contoh dari berbagai macam biomassa antara lain adalah tanaman, pepohonan, rumput, ubi, limbah pertanian, limbah hutan, tinja dan kotoran ternak. Selain digunakan untuk tujuan primer serat, bahan pakan ternak, dan sebagainya, biomassa juga digunakan sebagai sumber energi atau bahan bakar. Pada umumnya yang digunakan sebagai bahan bakar adalah biomassa yang nilai ekonomisnya rendah atau merupakan hasil limbah setelah diambil produk primernya.

Sumber energi biomassa mempunyai beberapa kelebihan di antaranya merupakan sumber energi terbarukan (*renewable*) sehingga dapat menyediakan sumber energi secara berkelanjutan (*sustainable*). Secara umum bahan baku biomassa dibedakan menjadi dua jenis, yaitu pohon berkayu (*woody*) dan rumput-rumputan (*herbaceous*) (Arhamsyah, 2010). Biomassa mempunyai permasalahan dalam hal kerapatan (densitas) yang relatif rendah, pengolahan, penyimpanan, dan transportasi (Rubiyanti *et al.*, 2019).

Menurut Syamsiro dalam (Rani *et al.*, 2020b) densifikasi adalah teknik konversi biomassa menjadi bahan bakar dengan tujuan meningkatkan kerapatan, memudahkan penyimpanan dan pengangkutan karena memiliki ukuran dan kualitas yang seragam. Salah satu produk densifikasi biomassa adalah pelet biomassa. Pelet merupakan biomassa yang diperkecil ukurannya, kemudian dipadatkan sehingga berbentuk silindris yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar.

Menurut Sulaiman dalam (Arhamsyah, 2010) sebagai salah satu bahan bakar, biomassa perlu dilakukan pengolahan terlebih dahulu agar dapat lebih mudah digunakan yang dikenal dengan konversi biomassa. Teknologi konversi biomassa tentu saja membutuhkan perbedaan pada alat yang digunakan untuk menghasilkan bahan bakar yang dihasilkan.

Secara umum teknologi konversi biomassa menjadi bahan dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu pembakaran langsung, konversi termokimia, dan konversi biokimia. Pembakaran langsung merupakan teknologi yang paling sederhana karena pada umumnya biomassa dapat langsung dibakar.

2.4. Pelet Biomassa TKKS

Pelet tandan kosong kelapa sawit merupakan salah satu bentuk dari energi biomassa. Menurut Abelloncleanenergy dalam (Qadry *et al.*, 2018) biomassa pelet pertama kali diproduksi di Swedia sekitar tahun 1980an. Di Swedia pelet biomassa digunakan sebagai pemanas ruangan dan pelet tersebut dibuat dari serbuk kayu.



Gambar 3. Pelet Tandan Kosong Kelapa Sawit

Pelet biomassa pada penelitian ini merupakan biomassa dari tandan kosong kelapa sawit (TKKS). Dimana pelet TKKS ini sudah dipadatkan namun ukuran bentuknya masih belum seragam. Bentuk yang belum seragam ini masih ada kemungkinan terjadi kerusakan atau hancur dalam proses pengemasan, transportasi, dan penyimpanan dapat dilihat pada Gambar 3.

Tabel 2. Kandungan Komposisi Sifat Kimia TKKS

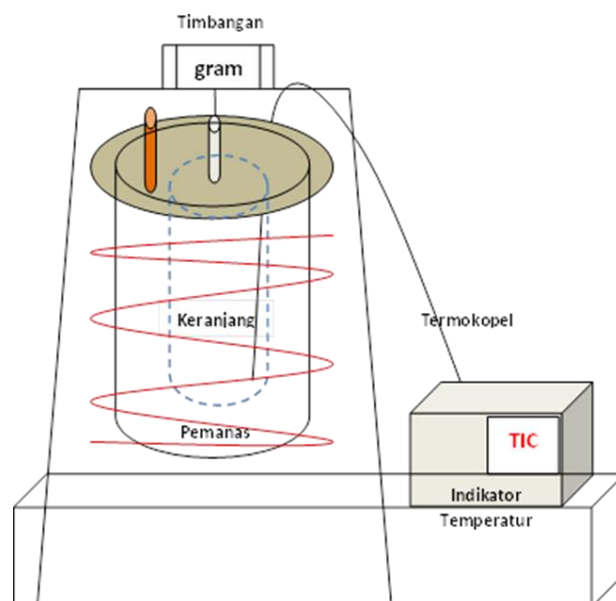
Komposisi	Bahan Baku
Kadar Air	8,56
Lignin	25,83
Selulosa	33,25
Hemiselulosa	23,24
Zat Ekstraktif	4,19

Sumber : Pratama (2017).

Pelet TKKS tersusun dari beberapa zat penting yang perlu diketahui, hal ini dapat dimanfaatkan menjadi ukuran standar bahan baku terbarukan yang lebih bernilai ekonomis. Beberapa komponen penyusunnya antara lain selulosa, lignin, holoselulosa, hemiselulosa, kadar air dan zat ekstraktif lain. Komposisi zat penyusun tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dapat dilihat pada Tabel 2.

2.5. Torefaksi

Metode torefaksi merupakan salah satu cara untuk pengolahan biomassa agar dapat meningkatkan kualitas dan biomassa dapat dipergunakan dalam rentang waktu lama (Basu, 2013). Tujuan utama torefaksi adalah untuk menghasilkan produk berupa material padat dengan densitas energi yang tinggi. Temperatur yang digunakan pada proses torefaksi yaitu antara 200-300 °C, dengan ini teknologi yang digunakan akan mudah dan biaya investasi relatif rendah, namun mempunyai efisien konversi energi yang tinggi, yakni hingga 90 % (Wahyudi *et al.*, 2020b).



Gambar 4. Skematik Reaktor Torefaksi Tandan Kosong Kelapa Sawit.
(Irawan *et al.*, 2015)

Chen dkk dalam (Irawan *et al.*, 2015b) menyatakan torefaksi dapat dilakukan pada berbagai macam biomassa seperti jerami, kayu, bambu. Kualitas produk torefaksi sangat ditentukan oleh karakteristik biomassa, temperatur dan lama proses torefaksi. Deutmeyer menyatakan secara umum, kualitas produk torefaksi biomassa adalah densitas energi dan *hydrophobic* meningkat.

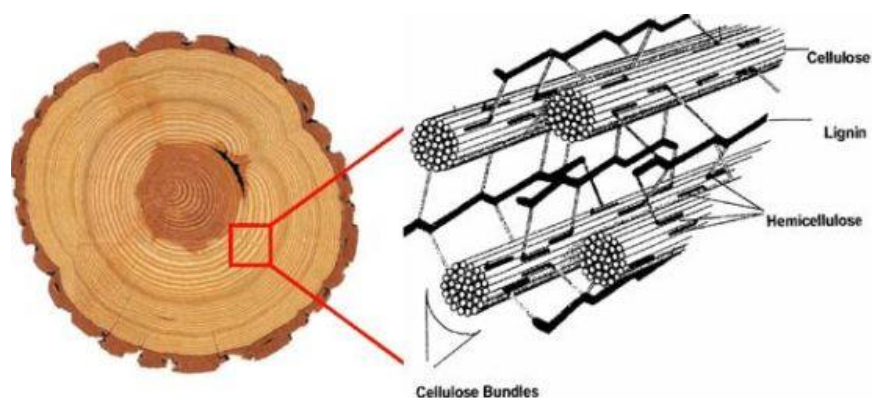
Uemura dkk dalam (Irawan *et al.*, 2015b) menyatakan penelitian torefaksi pada biomassa kelapa sawit telah dilakukan pada kulit buah kelapa sawit, tandan kosong kelapa sawit dan kulit keras yang membungkus biji kelapa sawit (*kernel shell*). Chen dkk dalam (Irawan *et al.*, 2015b) menyatakan dengan proses torefaksi maka kandungan karbon tetap akan meningkat dan kandungan zat-zat volatil akan menurun sehingga kualitas biomassa akan meningkat. Torefaksi memiliki manfaat tambahan yaitu 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 mengalami penurunan sehingga biomassa memiliki karakteristik mendekati batubara (Van der Stelt, 2011).

Dengan temperatur akhir torefaksi meningkat berakibat gas volatil yang dihasilkan akan bertambah dari hasil dekomposisi hemiselulosa, lignin, dan selulosa. Hemiselulosa akan terdekomposisi terlebih dahulu dan dilanjutkan dengan dekomposisi lignin dan selulosa. Proses yang cukup lama pada torefaksi, dapat menyebabkan komponen-komponen energi hilang sehingga kandungan energi akan menurun (Irawan *et al.*, 2015b).

Pelet TKKS memiliki beberapa kandungan sifat seperti, kadar air, selulosa, hemiselulosa, lignin, karbon, dan nilai kalor. Senyawa kimia merupakan senyawa dasar pembentuk tanaman. Banyaknya kandungan komposisi kimia dalam suatu tanaman tergantung pada jenis tanaman, tempat dimana tanaman tumbuh, dan umur tanaman tersebut. Kesamaan jenis tanaman, akan mempengaruhi jika tempat tumbuhnya berbeda, maka kemungkinan besar kandungan lignin, selulosa, dan hemiselulosanya berbeda (Kondo and Arsyad, 2018).

2.6. Selulosa

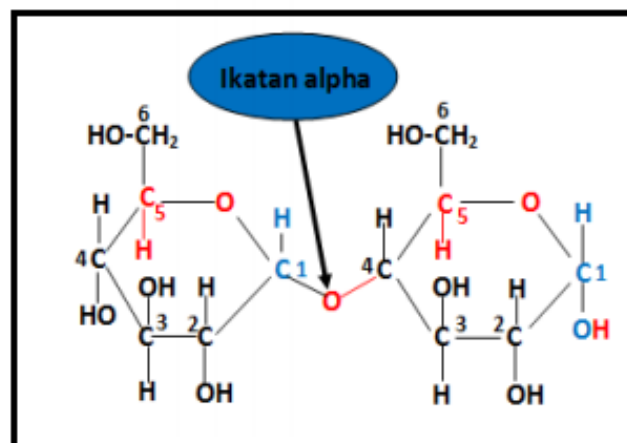
Selulosa adalah zat penyusun tanaman yang terdapat pada struktur sel. Kadar selulosa dan hemiselulosa pada tanaman pakan yang muda mencapai 40% dari bahan kering. Bila hijauan makin tua proporsi selulosa dan hemiselulosa makin bertambah (Tillman dkk, 1989). Gambar 5 merupakan bagian komponen-komponen sifat kimia yang ada dalam tanaman.



Gambar 5. Komponen-komponen Sifat Kimia Penyusun Tanaman.
Sumber :<https://www.google.kajianpustaka>.

Selulosa tidak pernah ditemukan dalam keadaan murni di alam, tetapi selalu berasosiasi dengan polisakarida lain seperti lignin, pectin, hemiselulosa, dan xilan. Di dalam tumbuhan molekul selulosa tersusun dalam bentuk fibril yang terdiri atas beberapa molekul paralel yang dihubungkan oleh ikatan glikosidik sehingga sulit diuraikan. Molekul glukosa disambung menjadi molekul besar, panjang, dan berbentuk rantai dalam susunan menjadi selulosa. Semakin panjang suatu rangkaian selulosa, maka rangkaian selulosa tersebut memiliki serat yang kuat, lebih taha terhadap pengaruh bahan kimia, cahaya, dan mikroorganisme. Selulosa menurut kajian dari (Sumada and Tamara, 2011) terdapat tiga jenis selulosa berdasarkan derajat polimerisasi dan kelarutan dalam senyawa natrium hidroksida (NaOH), yaitu sebagai berikut:

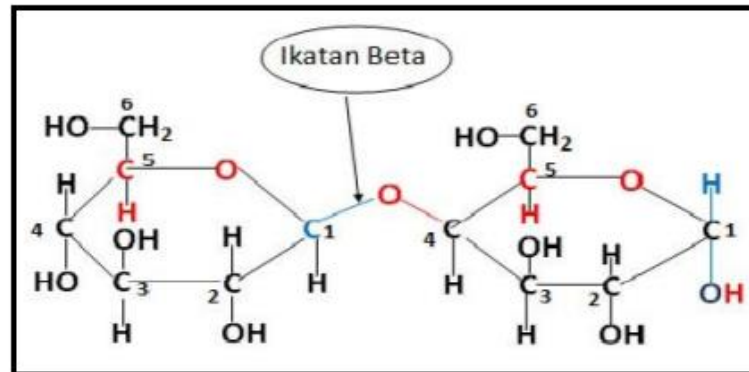
2.6.1. Selulosa α (*Alpha Cellulose*)



Gambar 6. Ikatan *alpha* (α) selulosa.
Sumber :<https://www.google.kajianpustaka>.

Selulosa α pada Gambar 6 adalah jenis selulosa berantai panjang, tidak larut dalam larutan NaOH 17,5% atau larutan basa kuat dengan derajat polimerisasi 600 - 1500. Selulosa α dipakai sebagai penduga dan atau penentu tingkat kemurnian selulosa. Selulosa α merupakan kualitas selulosa yang paling tinggi (murni). Selulosa α > 92% memenuhi syarat untuk digunakan sebagai bahan baku utama pembuatan propelan dan atau bahan peledak.

2.6.2 Selulosa β (*Betha Cellulose*)

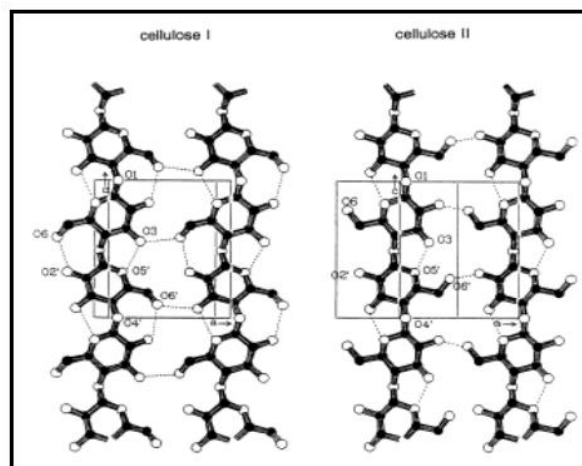


Gambar 7. Ikatan *Betha* (β) selulosa
Sumber :<https://www.google.kajianpustaka>.

Berdasarkan kajian dari (Sumada and Tamara, 2011) selulosa β adalah jenis selulosa berantai pendek, larut dalam larutan NaOH 17,5% atau basa kuast dengan derajat polimerisasi 15 - 90, dapat mengendap bila dinetralkan. Gambar 7 merupakan ikatan *Betha* (β) selulosa dalam tanaman.

2.6.3 Selulosa γ (*Gamma cellulose*)

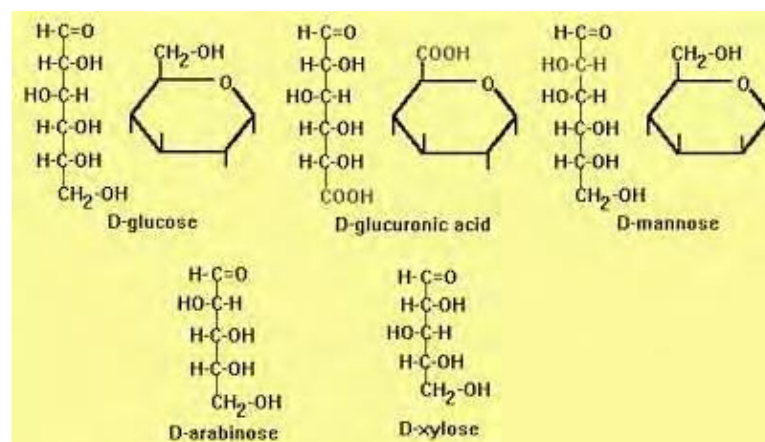
Selulosa γ pada Gambar 8 adalah Selulosa yang sama dengan selulosa β , tetapi derajat polimerisasinya kurang dari 15. Selulosa memiliki struktur yang unik karena kecenderungannya membentuk ikatan hidrogen yang kuat.



Gambar 8. Ikatan Gamma (γ) selulosa
Sumber :<https://www.google.kajianpustaka>.

2.7. Hemiselulosa

Hemiselulosa merupakan heteropolisakarida yang mengandung berbagai gula, terutama pentose. Hemiselulosa umumnya terdiri dari dua atau lebih residu pentose yang berbeda. Komposisi polimer hemiselulosa sering mengandung asam uronat sehingga mempunyai sifat asam. Hemiselulosa memiliki derajat polimerisasi yang lebih rendah, lebih mudah dibandingkan selulosa dan tidak berbentuk serat-serat yang panjang (Kusnandar, 2010). Struktur hemiselulosa dapat dilihat pada Gambar 9.



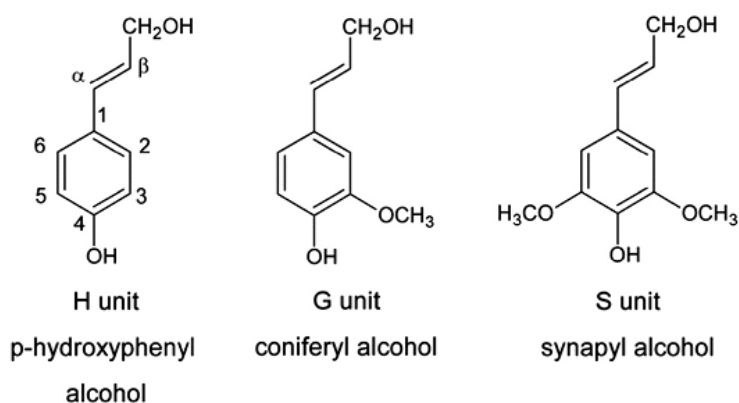
Gambar 9. Struktur Hemiselulosa.
Sumber :<https://www.google.kajianpustaka>

2.8. Lignin

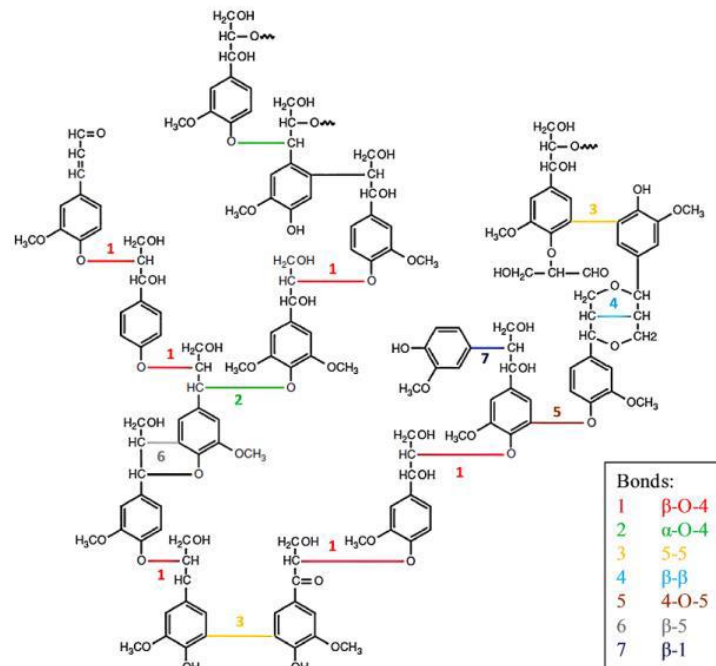
Lignin merupakan polimer alami yang memiliki fungsi utama sebagai perekat pada lapisan tumbuhan. Lignin memiliki gugus fungsi seperti hidroksi, karbonil dan metoksi serta memiliki kelarutan yang rendah terhadap air sehingga berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai perekat, dan plastik *biodegradable*. Lignin diklasifikasikan sebagai senyawa polimer amorf yang memiliki sifat termoplastis, yang menampilkan transisi *glasstemperature* (T_g) yang sangat bervariasi. Dekomposisi struktur lignin bermula pada suhu yang relatif rendah, yaitu 150-275°C. Kandungan lignin pada sampel torefaksi suhu tinggi yang semakin meningkat disebabkan karena menurunnya nilai kadar selulosa dan hemiselulosa yang lebih mudah terdegradasi akibat suhu tinggi (Rubiyanti *et al.*, 2019).

Melalui tahapan pertama, yakni dekomposisi yang disebabkan dehidrasi grup hidroksil yang terletak pada grup benzil. Pembelahan α - dan sambungan β -aryl-alkil-ether berada pada suhu 150-300°C. Pada sekitar suhu 300°C, rantai alifatik mulai memisah dari cincin aromatis sementara pembelahan karbon-karbon diantara unit struktur lignin terjadi pada suhu 370- 400°C.

Struktur lignin bergantung pada jenis tanaman dan monomer ligninnya (monolignol), dimana terdapat 3 komponen utama monomer gugus phenylpropane yang berulang yaitu *pcoumaryl alcohol* (H), *coniferyl alcohol* (G), dan *sinaphyl alcohol* (S) yang tertera pada Gambar 10. Kandungan dalam *softwood* lignin hanya terdiri dari *coniferyl alcohol*, *hardwood* lignin terdiri dari *coniferyl* dan *synaphyl alcohol*. *Softwood* mengandung jumlah lignin terbanyak dibandingkan *hardwood*, dimana rasio S/G di *hardwood* dan di *softwood* adalah 2:1 dan 1:2-1:3. Untuk karakteristik utama ikatan lignin yang berasal dari *softwood* digambarkan pada Gambar 11.



Gambar 10. Tiga Komponen Utama Monolignol dengan Nomenklatur Atom C.
 Sumber : (Fengel, D And Wegener, 1984)



Gambar 11. Ikatan Utama dalam Struktur Lignin pada Softwood.
Sumber : <https://www.google>. Kajianpustaka

2.9. Kadar Air

Kadar air merupakan perbandingan antara berat kering udara pada pelet dengan berat kering oven pada pelet TKKS. Penetapan nilai kadar air dilakukan dengan 2 gram sampel diletakkan pada cawan porselen yang bobotnya sudah ditimbang, kemudian dimasukkan ke dalam oven pada suhu 105°C selama 24 jam sampai kadar air konstan. Pelet kemudian didinginkan dalam desikator sampai kondisi stabil dan seimbang. Perhitungan kadar air dapat dilakukan dengan rumus sebagai berikut (Badan Standardisasi Nasional (BSN), 2014).

Kadar air ditentukan berdasarkan rumus berikut:

$$\text{Kadar Air} = \frac{Ba - Bk}{Bk} \times 100 \%$$

Keterangan:

Ba = Bobot bahan sebelum di oven

Bk = Bobot bahan setelah di oven.

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan pada bulan Desember 2020 sampai dengan Mei 2021. Persiapan bahan dan proses torefaksi dilakukan di lokasi di Laboratorium Pertanian Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

3.2. Alat dan Bahan

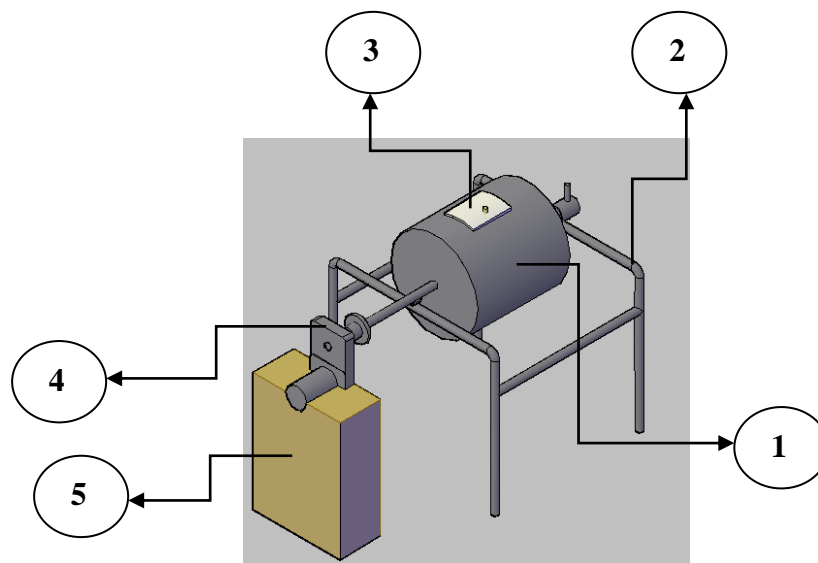
Penelitian ini menganalisis perubahan sifat kimia pada pelet TKKS menggunakan tabung reaktor putar dengan pemanas kompor. Alat-alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini dijelaskan pada sub-bab dibawah ini:

3.2.1. Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Tabung torefaksi, yaitu tabung sebagai wadah dengan kerangka penyangga yang membantu meletakkan tabung dan poros putaran tabung.
2. Saringan (*strainer*), digunakan untuk menyaring pelet dari debu atau kotoran lain.
3. Termometer untuk mengukur suhu saat torefaksi pelet TKKS.
4. *Stopwatch*, digunakan untuk menghitung kebutuhan waktu torefaksi dan lainnya.
5. Timbangan digital, digunakan untuk menimbang sampel pelet TKKS.
6. Cawan porselin, digunakan untuk wadah pelet TKKS diabukan.
7. Oven digunakan untuk pengeringan atau pemanggangan pelet TKKS.
8. Tabung gas 3 kg dan kompor untuk bahan dan alat pembakaran saat torefaksi.

9. *Hotplate* yaitu, alat yang digunakan untuk memanaskan larutan dengan pelet TKKS.
10. *Tachometer* untuk menentukan (*rpm*) dari tabung reaktor putar.
11. Erlenmeyer untuk mencampur larutan H_2SO_4 dan aquades dan wadah untuk pemasakan bahan
12. Pendingin balik atau kondensor untuk membantu proses pendinginan suhu dalam erlenmeyer saat dipanaskan.



Gambar 12. Alat Torefaksi.

Keterangan alat:

1. Tabung Torefaksi
2. Kerangka Tabung Torefaksi
3. Tutup Tabung Torefaksi
4. Dinamo
5. Penyangga Dinamo

3.2.2. Bahan

Bahan yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Pelet TKKS yang melalui proses torefaksi menggunakan pemanas kompor dan pelet non torefaksi.
2. Kertas saringan dan Kertas PH.
3. Larutan Aquades, H_2SO_4 , Air, dan Pasir

3.3. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktorial dengan dua faktor percobaan yaitu:

Faktor pertama (T) adalah suhu ($^{\circ}\text{C}$) torefaksi pelet tandan kosong kelapa sawit (TKKS) terdiri dari 3 taraf pada penggunaan pemanas kompor yaitu:

1. 220 $^{\circ}\text{C}$ (T1)
2. 240 $^{\circ}\text{C}$ (T2)
3. 260 $^{\circ}\text{C}$ (T3)

Faktor Kedua (S) adalah waktu (menit) lama proses torefaksi pelet berbahan dasar tandan kosong kelapa sawit (TKKS) yang terdiri dari 3 taraf pada penggunaan pemanas kompor yaitu:

1. 15 Menit (S1)
2. 25 Menit (S2)
3. 35 Menit (S3)

Tabel 3. Kombinasi Perlakuan Percobaan dengan Pemanas Kompor

Perlakuan	Ulangan 1	Ulangan 2	Ulangan 3
T1S1	T1S1U1	T1S1U2	T1S1U3
T1S2	T1S2U1	T1S2U2	T1S2U3
T1S3	T1S3U1	T1S3U2	T1S3U3
T2S1	T2S1U1	T2S2U2	T2S3U3
T2S2	T2S2U1	T2S2U2	T2S2U3
T2S3	T2S3U1	T2S3U2	T2S3U3
T3S1	T3S1U1	T3S1U2	T3S1U3
T3S2	T3S2U1	T3S2U2	T3S2U3
T3S3	T3S3U1	T3S3U2	T3S3U3

Keterangan:

T1, T2, T3 = Faktor Suhu 220 $^{\circ}\text{C}$, 240 $^{\circ}\text{C}$, dan 260 $^{\circ}$

S1, S2, S3 = Faktor Waktu 15 menit, 25 menit, dan 35 menit

U1, U2, U3 = Ulangan 1, 2, dan 3

3.4. Analisis Anova

Analisis Anova adalah sebuah analisis statistik yang menguji perbedaan rerata antar kelompok atau jenis perlakuan, analisis menggunakan aplikasi (SAS). Hasil akhir dari analisis anova adalah nilai *F test* atau *F* hitung. *F* hitung ini nantinya dibandingkan dengan nilai *F* tabel. Jika nilai *F* hitung lebih dari *F* tabel maka dapat disimpulkan bahwa menerima H_1 dan menolak H_0 atau yang berarti ada perbedaan bermakna rerata pada semua kelompok. Uji anova untuk melihat adanya suatu perbandingan nilai pada setiap perlakuan menggunakan hipotesis atau taraf signifikansi yang digunakan sebagai $F_{tabel\alpha} = 0,05$ dan $0,01$.

H_0 = Tidak terdapat perbedaan nyata pada perlakuan

H_1 = Terdapat minimal satu perlakuan yang berbeda nyata

Tabel 4. Rancangan Acak Lengkap Sampel Pelet TKKS

T1S1U2	T3S3U1	T1S3U1
T1S2U1	T1S1U3	T3S1U1
T2S3U2	T3S1U3	T3S3U3
T1S2U3	T3S2U2	T2S2U1
T3S2U1	T2S1U2	T2S3U1
T2S1U1	T1S3U2	T3S1U2
T2S2U3	T2S3U3	T3S3U2
T1S1U1	T1S2U2	T1S3U3
T2S2U2	T3S2U3	T2S1U3

Tabel 4 merupakan alur (Randomisasi) sampel pelet TKKS torefaksi, yang diambil berdasarkan undian. Pengacakan yaitu setiap unit percobaan harus memiliki peluang yang sama untuk diberi suatu perlakuan tertentu. Pengacakan perlakuan pada unit-unit percobaan dapat menggunakan tabel bilangan acak, sistem lotere secara manual atau dapat juga menggunakan komputer (Mattjik dan Sumertajaya, 2000).

3.5. Prosedur Penelitian

Prosedur untuk menguji sifat kimia pelet yang sudah di torefaksi menggunakan alat pemanas kompor, dengan bahan pelet tandan kosong kelapa sawit dapat dilihat pada langkah-langkah penelitian sebagai berikut:

3.5.1. Persiapan Alat dan Bahan

Alat torefaksi yang digunakan pada penelitian ini merupakan hasil modifikasi alat penyangrai kopi yang terdiri atas tabung torefaksi, penyangga tabung torefaksi, dinamo, penyangga dinamo, kompor gas, tabung gas, dan *thermometer* suhu. Kemudian pengujian pelet sebagai bahan dasar penelitian dipisahkan berdasarkan variasi suhu yaitu 220°C, 240°C, dan 260°C. Masing-masing pelet dengan total 150 gram mengalami proses torefaksi dengan waktu yang sudah ditentukan yaitu 15 menit, 25 menit, dan 35 menit.

3.5.2. Penyaringan

Persiapan pelet tandan kosong kelapa sawit (TKKS) yang telah disiapkan lalu dilakukan tahap pertama yaitu disaring menggunakan saringan (strainer) dengan tujuan memisahkan pelet TKKS dengan debu dan serbuk sisa pelet.

3.5.3. Proses Torefaksi

Proses torefaksi dilakukan dengan memasukkan pelet ke dalam tabung torefaksi, kemudian di panaskan dengan suhu yang telah ditentukan berdasarkan penjelasan sebelumnya yaitu 220°C, 240°C, dan 260°C. Proses torefaksi dilakukan dengan waktu yang telah ditentukan yaitu 15 menit, 25 menit, dan 35 menit.

Setiap torefaksi dilakukan, maka perlu pengulangan perlakuan yang terdapat pada kombinasi perlakuan percobaan (Tabel 3 dan Tabel 4). Percobaan yang dilakukan selama torefaksi sebanyak 27 kali dengan pemanas kompor. Pasang tabung torefaksi pada kerangka, kemudian pasang dinamo untuk memutar tabung. Setelah alat dan bahan disiapkan lalu dimasukkan 300 gram pasir dan 150 gram pelet kedalam tabung torefaksi.

Selanjutnya hidupkan kompor dan atur api hingga suhu tabung mencapai suhu yang ditentukan, gunakan (*thermometer infrared*) arahkan pada luar tabung torefaksi, jika suhu sudah tercapai maka mulai hidupkan (*stopwatch*) untuk menghitung waktu yang digunakan. Jika waktu sudah selesai pelet yang berada dalam tabung torefaksi dikeluarkan dan didinginkan terlebih dahulu kemudian dimasukkan kedalam wadah yang tertutup. Pada proses torefaksi ini dilakukan secara acak untuk setiap faktor suhu.

3.5.4. Pengujian dan Analisis Sifat Kimia Pelet TKKS

1. Kadar Air

Pengujian kadar air digunakan untuk mengetahui jumlah air yang masih terikat pada isolat lignin. Kadar air ditentukan menggunakan metode oven dengan melakukan pengeringan 1 gram sampel selama 24 jam pada suhu 105 °C kemudian didinginkan di dalam desikator (Siti, 2016). Kadar air isolat lignin ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$\text{Kadar Air} = \frac{Ba - Bk}{Ba} \times 100 \% \dots\dots\dots (1)$$

Keteranga:

Ba = Bobot bahan sebelum di oven

Bk = Bobot bahan setelah di oven

2. Daya Serap Air

Uji kemampuan menyerap air dilakukan dengan menyimpan produk TKKS hasil torefaksi di ruangan selama 30 hari. Berat massa pelet torefaksi dan non torefaksi akan ditimbangkan setiap hari untuk mengamati perubahan massa akibat menyerap air di lingkungan.

3. Analisis Komposisi Kimia

Analisis komposisi kimia meliputi lignin, selulosa, dan hemiselulosa dilakukan dengan mengacu pada metode Chesson (Datta, 1981). Sampel dikering tanur dengan suhu 105°C sampai bobot konstan. Diambil 1 g sampel kering dan ditambahkan 150 ml aquades, lalu dididihkan menggunakan *hot plate* selama 2 jam disertai dengan pendingin balik.

Saring dan dioven pada suhu 105°C, kemudian ditimbang sehingga diperoleh residu pertama (a).

Selanjutnya dididihkan kembali residu pertama menggunakan 150 ml H₂SO₄ 1N selama 2 jam disertai dengan pendingin balik lalu disaring (b).

Residu dicuci dengan 300 ml aquades dan di oven pada suhu 105°C lalu ditimbang sehingga didapatkan residu kedua (c).

Residu kedua ditambahkan dengan 10 ml H₂SO₄ 72% dan didiamkan selama 4 jam pada suhu kamar. Selanjutnya dididihkan selama 2 jam disertai dengan pendingin balik. Kemudian residu disaring lalu dicuci dengan air hingga pH dari air saringan lebih dari 6,5 dan setelah itu di oven pada suhu 105°C sehingga didapatkan residu ketiga (d). Residu keempat diperoleh dengan pengabuan residu pada suhu 550°C selama 2 jam dan ditimbang.(e)

(Haryanto et al., 2021).

$$\text{Hemiselulosa} = \frac{b-c}{a} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{Selulosa} = \frac{c-d}{a} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

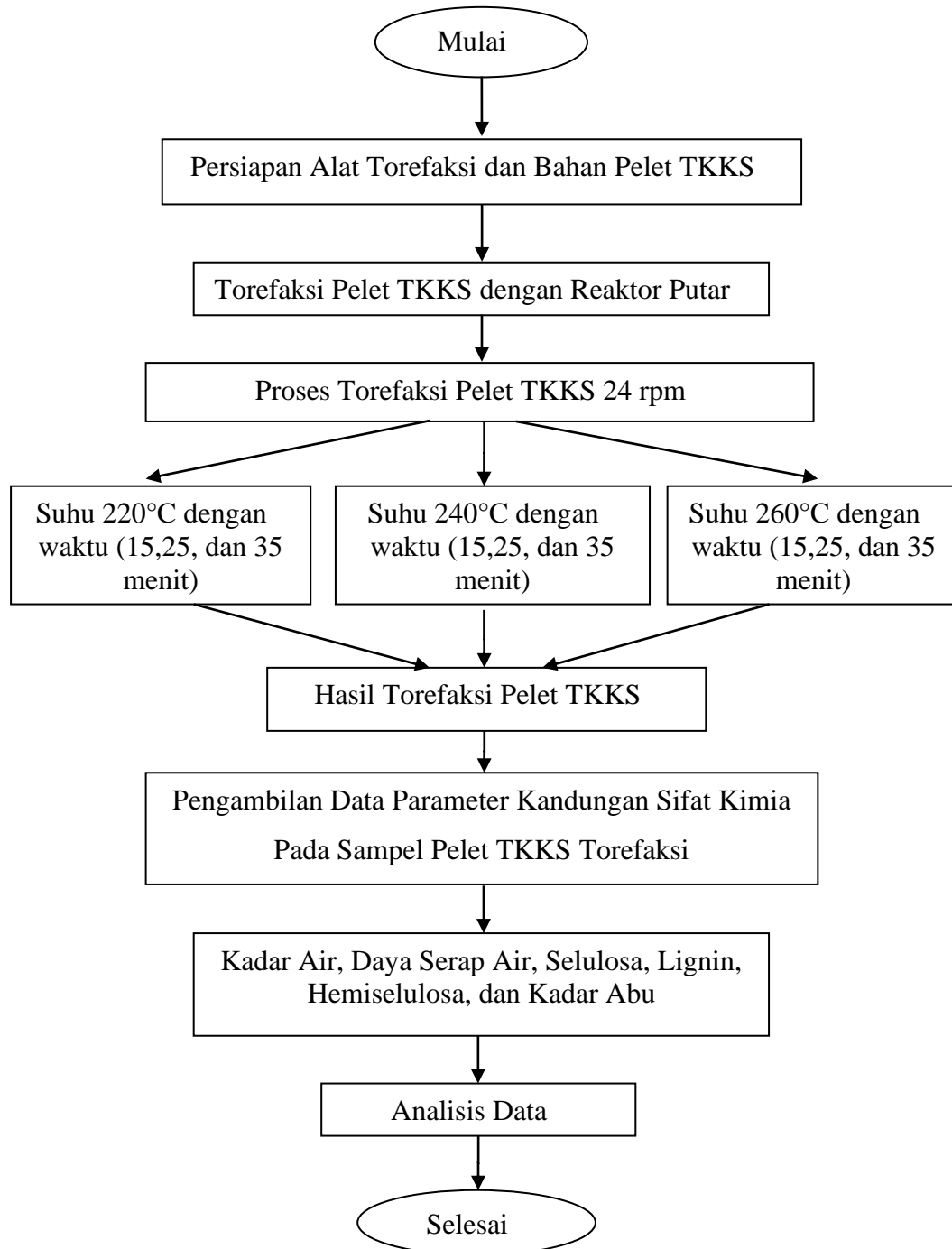
$$\text{Lignin} = \frac{d-e}{a} \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

4. Kadar Abu

Pengujian kadar abu mengacu pada standar SNI 8675: 2018. Sampel pelet TKKS sebanyak ±2 g di dalam cawan porselen diabukan dalam tanur listrik pada suhu 550 °C selama 2 jam. Sampel abu didinginkan dalam desikator dan ditimbang.

Kadar abu dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kadar Abu} = \frac{\text{Berat Abu}}{\text{Berat Kering (g)}} \times 100\% \dots\dots\dots (5)$$



Gambar 13. Diagram Alir Penelitian.

V. KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Pada pengujian torefaksi pelet, dengan semakin tinggi suhu dan lama waktu torefaksi, secara visual pelet berubah warna menjadi lebih gelap, dan massa pelet mengalami penurunan yang cukup tinggi.
2. Pada sifat kimia menunjukkan bahwa proses torefaksi pada pelet sangat berpengaruh terutama pada kadar air, setelah ditorefaksi nilai rata-rata menurun dari 10,04% menjadi sekitar 2%, selulosa setelah ditorefaksi mengalami penurunan dari 43,69% menjadi 23,03% dan lignin setelah ditorefaksi mengalami peningkatan dari 18,06% menjadi 38,34%. Pada daya serap air setelah dilakukan proses torefaksi, pelet menjadi lebih tahan terhadap penyerapan air, sehingga dapat disimpan pada jangka waktu yang cukup lama. Dari beberapa hasil uji sifat kimia menunjukkan kondisi paling optimum adalah suhu torefaksi 260 °C dengan waktu 25 menit.

5.2. Saran

Perlu dilakukan pengujian lanjutan tentang karakteristik sifat kimia pada pelet TKKS yang di torefaksi menggunakan *heater*.

DAFTAR PUSTAKA

- Abelloncleanenergy. (2009). *Cofiring with biopellets: An efficient way to reduce greenhouse greenhouse gas emissions*. India: Abellon
- Arhamsyah, A.,(2010). Pemanfaatan Biomassa Kayu Sebagai Sumber Energi Terbarukan. *J. Ris. Ind. Has. Hutan* 2, 42.
<https://doi.org/10.24111/jrihh.v2i1.914>
- Badan Standardisasi Nasional (BSN), (2014). *Pelet Kayu*. SNI 8021:2014. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Basu, P., (2013), *Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction-Practical Design and Theory*. Second Edition, Academic Press, San Diego, pp. 87-145.
- Bergman, P.C.A., (2005), *Combined Torrefaction and Pelletisation*, ECN Report, ECN-C-05-073.
- Chen, W.H., Peng, P., and Bi, X.T., (2015), *A state-of-the-art review of biomass torrefaction ,densification and applications, Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 44, pp. 847-866.
- Deutmeyer, M., (2012), *Torrefaction Technologies and Initiatives for Improving Biomass Feedstock Specifications: Possible Effect of Torrefaction on Biomass Trade*, IEA Bioenergy, Task 40.
- Dirjen Perkebunan, (2019). *Produksi Tandan Buah Segar Kelapa Sawit*. Sekretariat Ditjen Perkebunan 75.
- Fengel, D and Wegener, D. (1984). *Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions*. Sastroamidjojo, H. (penerjemah). (1995). *Kayu: Kimia, Struktur, Reaksi-Reaksi*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta. 128 Hal

- Fernando, A.Q., Helwani, Z., (2016). *Torefaksi Tandan Kosong Sawit : Pengaruh Kondisi Proses Terhadap Nilai Kalor Produk Torefaksi* 3, 4.
- Hambali E. (2010). *Peran teknologi proses dalam pengembangan agroindustri industri hilir kelapa sawit*. Orasi ilmiah guru besar IPB (ID).
- Haryanto, A., Iryani, D.A., Hasanudin, U., Telaumbanua, M., Triyono, S., Hidayat, W., (2021). *Biomass Fuel From Oil Palm Empty Fruit Bunch Pellet: Potential And Challenges* 10.
- Irawan, A., Riadz, T., Nurmalisa, N., (2015a). *Proses Torefaksi Tandan Kosong Kelapa Sawit Untuk Kandungan Hemiselulosa Dan Uji Kemampuan Penyerapan Air*. Reaktor 15, 190.
<https://doi.org/10.14710/reaktor.15.3.190-194>
- Kondo, Y., Arsyad, M., (2018). Analisis Kandungan Lignin, Sellulosa, dan Hemiselulosa Serat Sabut Kelapa Akibat Perlakuan Alkali. *INTEK J. Penelit.* 5, 94. <https://doi.org/10.31963/intek.v5i2.578>
- Kusnandar, F. (2010). *Mengenal Serat Pangan*. Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan, IPB. <http://itp.fateta.ipb.ac.id/> Diakses tanggal 25 November 2021.
- Lukmandaru, G., Susanti, D., and Widyorini, R. (2018). Sifat Kimia Kayu Mahoni yang Dimodifikasi dengan Perlakuan Panas. *Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea* 7(1): 37–46.
- Lynd L.R., P.J. Weimer, W.H. van Zyl WH and I.S. Pretorius. (2002). *Microbial Cellulose Utilization: Fundamentals and Biotechnology*. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 66(3):506-577.
- Maryenti, R., Komalasari, K., and Helwani, Z. (2017). *Pembuatan Bahan Bakar Padat dari Pelepah Sawit Menggunakan Proses Torefaksi pada Variasi Suhu Waktu Torefaksi*.
- Mattjik AA dan Sumertajaya M. (2000). *Perancangan Percobaan dengan Aplikasi SAS dan Minitab Jilid I*. Bogor: IPB Press.
- Muchlisin Riadi Oktober 25, (2018). *Gambar struktur jenis sifat dan sumber selulosa*. Diakses dari <https://www.kajianpustaka.com/2018/10/struktur-jenis-sifat-dan-sumber-selulosa.html>.

- Prastowo, B. (2012). *Biomass Resource in Indonesia: Indonesia's Solid Biomass Energy Potential*, in Indonesia - Germany Workshop and Seminar, 26-27 September 2012, Institut Teknologi Bandung.
- Pratama, Y., Helwani, Z., Komalasari. (2017). Pembuatan briket pelepah sawit menggunakan proses torefaksi pada variasi tekanan dan penambahan perekat tapioka. *Jurnal Fakultas Tehnik*. 4(1): 1-6.
- Qadry, M.G.A., Saputro, D.D., Widodo, R.D., (2018). *Karakteristik Dan Uji Pembakaran Biopellet Campuran Cangkang Kelapa Sawit Dan Serbuk Kayu Sebagai Bahan Bakar Alternatif Terbarukan* 16, 12.
- Rani, I.T., Hidayat, W., Febryano, I.G., Iryani, D.A., Haryanto, A., Hasanudin, U., (2020a). Pengaruh Torefaksi terhadap Sifat Kimia Pelet Tandan Kosong Kelapa Sawit. *J. Tek. Pertan. Lampung J. Agric. Eng.* 9, 63.
<https://doi.org/10.23960/jtep-l.v9i1.63-70>
- Rubiyanti, T., Hidayat, W., Febryano, I.G., Bakri, S., (2019). Characterization of Rubberwood (*Hevea brasiliensis*) Pellets Torrefied with Counter-Flow Multi Baffle (COMB) Reactor. *J. Sylva Lestari* 7, 321.
<https://doi.org/10.23960/jsl37321-331>
- Sa'dah, W.A., (2014). *Pemanfaatan Limbah Kelapa Sawit (Elaeis guineensis Jacq.) dan Serbuk Kayu Mahoni sebagai Bahan Baku Biopellet*. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Sumada, K., Tamara, P.E., (2011). *Isolation Study Of Efficient A Cellulose From Waste Plant Stem Manihot Esculenta Crantz* 5.
- Surjosatyo, A. dan F. Vidian. (2004). *Studi Co-gasifikasi Tandan Kosong dan Tempurung Kelapa Sawit Menggunakan Gasifier Aliran ke Bawah. Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses*, Jakarta. Hal 13-27.
- Syamsiro, M. (2016). Peningkatan kualitas bahan bakar padat biomassa dengan proses densifikasi dan torefaksi. *Jurnal Mekanik Sistem Termal*. 1(1): 7-13.
- Tillman, A. D., H. Hartadi, S. Reksohadiprodjo, S. Prawirokusumo dan S. Lebdoesoekojo. (1989). *Ilmu Makanan Ternak Dasar*. Gajah Mada University Press, Yogyakarta

Uemura, Y., Omar, W. N., Tsutsui, T., and Yusuf, S. B., (2011), *Torrefaction of Oil Palm Wastes*, *Fuel*, 90, pp. 2585-2591.

Van der Stelt, M.J.C., Gerhauser, H., Kiel, J.H.A., and Ptasiniki, K.J., (2011), *Biomass upgrading by torrefaction for the production of biofuels: A review*, *Biomass and Bioenergy Journal*, 35 , pp. 3748-3762.

Wahyudi, R., Amrul, A., Irsyad, M., (2020a). *Karakteristik Bahan Bakar Padat Produk Torefaksi Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit Menggunakan Reaktor Torefaksi Kontinu Tipe Tubular*. *INVOTEK J. Inov. Vokasional Dan Teknol.* 20, 1–8. <https://doi.org/10.24036/invotek.v20i2.706>