

**PEMANFAATAN BIOMASSA DARI LIMBAH KAYU JATI (*Tectona
Grandis L.f*) SEBAGAI SUMBER ALTERNATIF ENERGI TERBARUKAN
DENGAN MENGGUNAKAN METODE PIROLISIS**

(Skripsi)

Oleh

Zufa Eka Matussyah



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

PEMANFAATAN BIOMASSA DARI LIMBAH KAYU JATI (*Tectona Grandis L.f*) SEBAGAI SUMBER ALTERNATIF ENERGI TERBARUKAN DENGAN MENGGUNAKAN METODE PIROLISIS

Oleh

Zufa Eka Matussyah'diyah

Penelitian ini telah meralisasikan pemanfaatan biomassa dari limbah kayu jati (*Tectona Grandies L.f*) Sebagai sumber alternatif energi terbarukan dengan menggunakan metode pirolisis. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kalor yang terkandung pada asap cair yang dihasilkan melalui proses pirolisis, dan mengetahui karakteristik gugus yang terkandung pada limbah gergaji kayu jati menggunakan metode pirolisis dengan menggunakan Fourier Trasform Infra Red (FTIR). Pada penelitian ini, menggunakan Kalorimeter Bom untuk mengetahui nilai kalor yang terkandung pada asap cair. Asap cair hasil pirolisis limbah kayu jati menunjukkan rata-rata nilai kalor sebesar 11.625,84 J/g dari lima variasi waktu pirolisis, dengan rentang nilai antara 9.078,67 J/g hingga 15.982,62 J/g, yang mengindikasikan bahwa asap cair tersebut berpotensi sebagai sumber energi alternatif meskipun efisiensinya masih dipengaruhi oleh kadar air yang tinggi. Hasil uji FTIR menunjukkan adanya gugus -OH pada bilangan gelombang daerah 3300 cm⁻¹ dan gugus CH pada panjang gelombang 1410 cm⁻¹. Gugus C=C pada daerah 2100 cm⁻¹ dan 1640 cm⁻¹, ikatan C-N pada daerah 1270 cm⁻¹, dan ikatan CO pada daerah 1010 cm⁻¹. Kehadiran gugus-gugus ini menandakan adanya senyawa hidrokarbon dan senyawa organik lain yang berpotensi sebagai bahan bakar cair ramah lingkungan.

Kata Kunci: Pirolisis, *Fourier Transform Infra Red* (FTIR), Kalorimeter Bom

ABSTRACT

UTILIZATION OF BIOMASS FROM TEAK WOOD WASTE (*Tectona Grandis L.f*) AS AN ALTERNATIVE SOURCE OF RENEWABLE ENERGY USING THE PYROLYSIS METHOD

By

Zufa Eka Matussyah'diyah

This research has realized the use of biomass from teak wood waste (*Tectona Grandis L.f*) as an alternative source of renewable energy using the pyrolysis method. This research aims to determine the calorific value contained in liquid smoke produced through the pyrolysis process, and to determine the characteristics of the groups contained in teak sawdust using the pyrolysis method using Fourier Transform Infra Red (FTIR). In this research, a Bomb Calorimeter was used to determine the calorific value contained in liquid smoke. Liquid smoke from pyrolysis of teak wood waste showed an average calorific value of 11,625.84 J/g from five variations of pyrolysis time, with a range of values between 9,078.67 J/g to 15,982.62 J/g, which indicates that the liquid smoke has the potential as an alternative energy source although its efficiency is still influenced by high water content. The results of the FTIR test showed the presence of -OH groups at wave numbers in the 3300 cm^{-1} region and CH groups at a wavelength of 1410 cm^{-1} . C=C group in the 2100 cm^{-1} and 1640 cm^{-1} regions, C-N bonds in the 1270 cm^{-1} region, and CO bonds in the 1010 cm^{-1} region. The presence of these groups indicates the presence of hydrocarbon compounds and other organic compounds that have the potential as environmentally friendly liquid fuels.

Keywords: Pyrolysis, Fourier Transform Infra Red (FTIR), Kalorimeter Bom

**PEMANFAATAN BIOMASSA DARI LIMBAH KAYU JATI (*Tectona
Grandis L.f*) SEBAGAI SUMBER ALTERNATIF ENERGI TERBARUKAN
DENGAN MENGGUNAKAN METODE PIROLISIS**

Oleh

Zufa Eka Matussyah

Skripsi

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

Pada

**Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Lampung**



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
2025**

Judul Skripsi : Pemanfaatan Biomassa dari Limbah Kayu Jati
(*Tectona Grandis L.f*) Sebagai Sumber Alternatif
Energi Terbarukan dengan Menggunakan
Metode Pirolisis

Nama Mahasiswa : Zufa Eka Matussyah'diyah

Nomor Pokok Mahasiswa : 2117041041

Jurusan : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



MENYETUJUI
1. Komisi Pembimbing

Drs. Pulung Karo Karo, M.Si
NIP. 196107231986031003

Drs. Amir Supriyanto, M.Si
NIP. 196504071991111001

2. Ketua Jurusan Fisika FMIPA

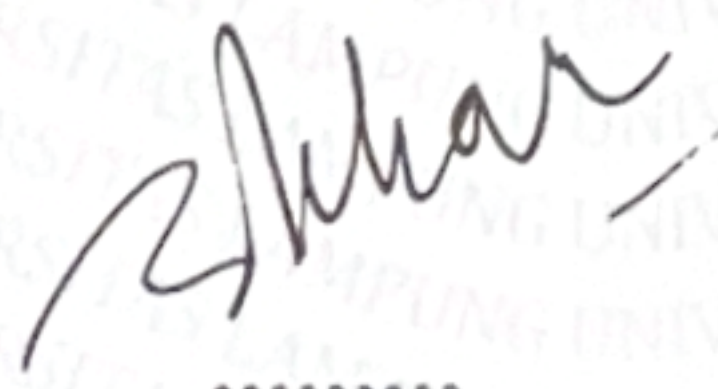
Arif Surtano, S.Si., M.Si., M.Eng
NIP. 197109092000121001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: **Drs. Pulung Karo Karo, M.Si**


.....

Sekretaris

: **Drs. Amir Supriyanto, M.Si**


.....

Penguji

Bukan Pembimbing

: **Dr. Yanti Yulianti, S.Si., M.Si**

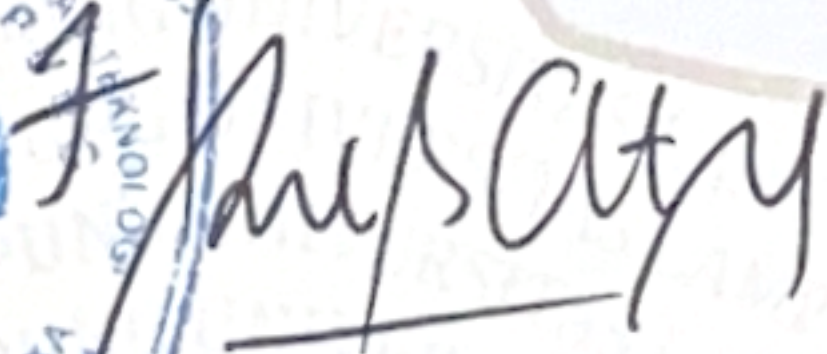

.....

2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si

NIP. 197110012005011002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 26 Juni 2025

PERNYATAAN SKRIPSI MAHASISWA

Nama Mahasiswa : Zufa Eka Matussya'diyah
Nomor Pokok Mahasiswa : 2117041041
Jurusan : Fisika
Judul Skripsi : Pemanfaatan Biomassa dari Limbah Kayu Jati (*Tectona Grandis L.f*) Sebagai Sumber Alternatif Energi Terbarukan dengan Menggunakan Metode Pirolisis

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepengetahuan saya tidak ada karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila ada pernyataan saya yang tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 26 Juni 2025

Penulis,



Zufa Eka Matussya'diyah

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Zufa Eka Matussyah, lahir di Sumbawa Besar, NTB pada tanggal 29 Desember 2003. Penulis merupakan anak pertama dari empat bersaudara. Pendidikan dasar di tempuh di SD Negeri 1 Gunung Terang dan lulus pada tahun 2015, kemudian melanjutkan ke SMP Negeri 1 Bulok dan lulus pada tahun 2018. Setelah itu penulis menyelesaikan pendidikan menengah atas di SMA Negeri 1 Bulok dan lulus pada tahun 2021. Pada tahun yang sama, penulis melanjutkan studi di Program Sarjana Fisika, Fakultas Matematika

dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung, dan berhasil menyelesaikannya pada tahun 2025.

Selama menjalani studi di Program Sarjana Fisika, penulis aktif dalam kegiatan organisasi kemahasiswaan sebagai anggota Himpunan Mahasiswa Fisika Universitas Lampung di bidang Komunikasi dan Informasi. Melalui organisasi ini, penulis berkontribusi dalam menyebarluaskan informasi akademik dan kegiatan organisasi kepada seluruh mahasiswa fisika Universitas Lampung serta terlibat dalam pengelolaan media komunikasi internal maupun eksternal. Melalui pengalaman ini, penulis mengembangkan keterampilan dalam bidang komunikasi, pengelolaan informasi serta kerja sama tim.

Selain aktif berorganisasi, penulis juga mengikuti program, MBKM Riset yang diselenggarakan oleh Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan teknologi Republik Indonesia. Pengalaman ini menjadi momentum penting dalam mengembangkan kemampuan adaptasi, komunikasi dan perspektif dalam bidang ilmu fisika.

Selain itu, penulis mengikuti program magang di Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) di Unit Laboratorium Teknologi Termodinamika Motor dan Propulsi. Selama magang, penulis terlibat dalam kegiatan pengujian emisi pada mesin kendaraan serta kalibrasi peralatan uji laboratorium yang berkaitan dengan performa termal dan emisi. Melalui pengalaman ini, penulis memperoleh pemahaman mendalam tentang aplikasi prinsip termodinamika dan pengendalian emisi dalam dunia riset dan industri, sekaligus memperkaya keterampilan praktis di bidang pengukuran, analisis data, dan pemeliharaan alat ukur energi.

Penulis menyadari bahwa ilmu dan pengalaman yang diperoleh selama masa studi ini masih jauh dari sempurna. Namun, dengan bekal yang ada, penulis berharap dapat terus belajar, berkembang, dan memberikan kontribusi positif bagi masyarakat, dunia akademik, serta dunia profesional. Penulis juga bertekad untuk tidak berhenti mengejar ilmu, memperbaiki diri, dan mengabdikan kemampuan yang dimiliki untuk kemajuan bangsa dan kesejahteraan umat manusia.

MOTTO

“Dia-lah yang menjadikan bumi mudah bagi kalian, maka berjalanlah di segala penjurunya dan makanlah dari rezeki-nya”

-QS Al-Mulk:15

"Kesuksesan bukan milik orang pintar. Kesuksesan adalah milik mereka yang senantiasa berusaha."

-B.J. Habibie

“Jangan lihat apa yang jatuh, tapi lihatlah apa yang akan tumbuh”

-Budi Irawan

"Langit tak membatasi langkah, yang membatasi hanya rasa takutmu sendiri."

-Zufa Eka Matussyah

PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur kepada Allah SWT, kupersembahkan skripsi ini kepada :

Bapak Budi Irawan dan Ibu Sri Mulyani

Kedua orang tuaku yang telah melahirkan, membesarkan, dan mendidiku, serta menjadi penyemangatku dalam menjalani hidup selama ini

Bapak/Ibu Dosen FISIKA FMIPA UNILA

Terima kasih telah memberikan bekal ilmu pengetahuan, nasihat, dan saran yang membangun kepadaku

Rekan-rekan seperjuangan Fisika Angkatan 2021

Almamater Tercinta

UNIVERSITAS LAMPUNG

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT. Tuhan Yang Maha Esa sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pemanfaatan Biomassa dari Limbah Kayu Jati (*Tectona Grandis L.f*) Sebagai Sumber Alternatif Energi Terbarukan dengan Menggunakan Metode Pirolisis”**. Dengan segala kerendahan hati, penulis menyadaribahwa penyusunan skripsi ini masih terdapat kesalahan dan masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun penulis harapkan untuk memperbaiki skripsi ini.

Semoga skripsi ini bermanfaat bukan hanya untuk penulis, tapi juga untuk para pembaca

Bandar Lampung, 26 Juni 2025

Penulis,

Zufa Eka Matussyah

SANWACANA

Segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan taufik dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Pemanfaatan Biomassa dari Limbah Kayu Jati (*Tectona Grandis L.f*) Sebagai Sumber Alternatif Energi Terbarukan dengan Menggunakan Metode Pirolisis”**. Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari tidak sedikit hambatan dan kesulitan yang dihadapi, namun berkat bantuan dan dukungandari berbagai pihak, akhirnya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak Drs. Pulung Karo Karo, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing I yang telah membimbing, memberikan ilmu, motivasi, serta arahan dalam proses penyusunan skripsi.
2. Bapak Drs. Amir Supriyanto, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing II yang telah membimbing, memberikan ilmu, motivasi, serta arahan dalam proses penyusunan skripsi.
3. Ibu Dr. Yanti Yulianti, M.Si., selaku dosen Pembahas yang telah memberikan saran dan masukan sehingga penulisan skripsi ini menjadi lebih baik.
4. Ibu Suprihatin, S.Si., M.Si., selaku dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing penulis selama menjadi mahasiswa di Universitas Lampung.
5. Bapak Arif Surtono, S.Si., M.Sc, selaku Ketua Jurusan Fisika Fmipa Universitas Lampung
6. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si. selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.

7. Seluruh Dosen Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung yang telah memberikan banyak ilmu selama menjadi mahasiswa di Universitas Lampung.
8. Para Tenaga Kependidikan Jurusan Fisika yang telah membantu memenuhi kebutuhan administrasi penulis.
9. Orang tua Bapak Budi Irawan dan Ibu Sri Mulyani yang senantiasa memberikan doa, dukungan, dan kasih sayang yang melimpah kepada penulis.
10. Mbah Uti dan Nenek yang senantiasa mendoakan dan memberikan dukungan kepada penulis.
11. Om dan Tante yang selalu mendoakan serta memberikan dukungan dan arahan kepada penulis.
12. Keluarga besar yang telah memberikan dukungan kepada penulis.
13. Ni Luh Wulandari dan Mellynda Susiana, yang senantiasa menemani dan memberikan semangat kepada penulis dari awal perkuliahan hingga menjadi mahasiswa akhir.
14. Teman-teman diluar kampus Unila yang selalu mendukung dan memberikan semangat kepada penulis.
15. Teman-teman seperjuangan Fisika angkatan 2021 yang telah kebersamaan penulis.

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
HALAMAN JUDUL	iii
LEMBAR PERSETUJUAN	v
LEMBAR PENGESAHAN	vi
PERNYATAAN.....	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
MOTTO	ix
PERSEMBAHAN.....	x
KATA PENGANTAR.....	xi
SANWACANA	xii
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	2
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Manfaat Penelitian.....	5

1.5. Batasan Masalah.....	5
---------------------------	---

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terkait	6
2.2. Energi Alternatif Biomassa	8
2.3. Kayu Jati (<i>Tectona grandis L.f</i>).....	11
2.4. Pirolisis	13
2.5. Viskositas	15
2.6. Kalorimeter Bom.....	16
2.7. <i>Fourier Transform Infra Red</i> (FTIR)	18

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	21
3.2. Alat dan Bahan Penelitian.....	21
3.3. Prosedur Penelitian.....	22
3.3.1. Preparasi Sampel.....	24
3.3.2. Pembuatan Alat Pirolisis	24
3.3.3. Pembuatan Bahan Bakar Variasi Waktu	25
3.3.4. Penentuan Nilai Kalor	26
3.3.5. Uji FTIR.....	27

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Implementasi Produksi Biomassa	29
4.2. Analisis Produksi Biomassa.....	31
4.2.1. Efisiensi Produksi Biomassa.....	32
4.3. Uji Kalorimeter Bom	34
4.3.2. Relevansi dengan Proses Pirolisis Limbah Kayu Jati	37

4.4. Analisis Gugus Fungsi <i>Fourier Transform Infra Red</i> (FTIR)	39
4.4.1. Analisis Gugus Fungsi	40
4.4.2. Interpretasi Hasil FTIR Produk Pirolisis Kayu Jati	42
4.4.3. Perbandingan Nilai Kalor dengan Hasil FTIR	43
IV. SIMPULAN DAN SARAN	46
5.1. Simpulan.....	46
5.2. Saran	46
DAFTAR PUSTAKA	48
LAMPIRAN.....	55

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Kayu Jati (<i>Tectona Grandis L.f</i>) (Pujirahayu dkk., 2022).	12
Gambar 2.2. Sistem rangkaian reaktor pirolisis dan kondensornya.	14
Gambar 2.3. Kalorimeter Sederhana (Noviyanti dan Hufri., 2018)	17
Gambar 2.4. Prinsip Kerja Kalorimeter Bom (Nainggolan dkk., 2016).....	18
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian.....	23
Gambar 3.1. Desain alat pirolisis.....	24
Gambar 3.2. Thermokopel.....	26
Gambar 3.2. Bom Kalorimeter	27
Gambar 3.3. Grafik FTIR	28
Gambar 4.1. Proses Preparasi Sample	29
Gambar 4.2. Preparasi Sample Limbah Serbuk Gergaji Kayu Jati.	30
Gambar 4.3. Volume Limbah Serbuk Kayu Jati.	30
Gambar 4.4. Alat Pirolisis Sederhana.....	31
Gambar 4.5. Proses Pembakaran dengan Metode Pirolisis	32
Gambar 4.6. Hasil Biomassa Asap Cair	34
Gambar 4.8. Produk Asap Cair.....	38
Gambar 4.9. Spektrum hasil FTIR (<i>Fourier Transform Infra Red</i>) serbuk gergaji	40

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1. Pengaruh suhu dan waktu pembakaran	25
Tabel 3.2. Data pengujian nilai kalor biodiesel	26
Tabel 4.1. Hasil Biomassa Asap Cair	33
Tabel 4.2. Nilai Kalor Asap Cair	35
Tabel 4.3. Puncak-Puncak Pita FTIR	42
Tabel 4.4. Perbandingan Nilai Kalor dengan Hasil FTIR	44

BAB I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Meningkatnya jumlah penduduk dan semakin banyaknya industri yang berkembang, mengakibatkan kebutuhan energi semakin lama semakin meningkat. Hal ini berdampak pada meningkatnya harga jual bahan bakar minyak dunia khususnya di Indonesia. Dengan menggunakan bahan bakar yang terus menerus, maka bahan bakar semakin lama akan semakin berkurang karena sifatnya yang tidak mudah diperbaharui. Oleh karena itu, diperlukan bahan bakar alternatif yang murah dan ramah lingkungan sebagai pengganti minyak untuk industri kecil dan rumah tangga. Energi biomassa pada dasarnya energi matahari yang ditangkap oleh tanaman melalui proses fotosintesis dan disimpan secara kimiawi dalam sel-sel tanaman. Jadi biomassa adalah bahan yang berasal dari tanaman. Potensi biomassa di Indonesia sangat besar, diperkirakan 50 GW namun yang dimanfaatkan baru sekitar 5% saja. (Padang dkk., 2024).

Biomassa merupakan istilah untuk semua bahan organik yang berasal dari tanaman (termasuk alga, pohon dan tanaman). Contoh biomassa antara lain adalah tanaman, pepohonan, rumput, ubi, limbah pertanian, limbah hutan, tinja, dan kotoran ternak. Selain digunakan untuk bahan pangan, pakan ternak, minyak nabati, bahan bangunan dan sebagainya, biomassa juga digunakan sebagai sumber energi (bahan bakar). Biomassa diproduksi oleh tanaman hijau yang mengkonversi sinar matahari menjadi bahan tanaman melalui proses fotosintesis. Sumber daya biomassa dapat dianggap sebagai materi organik, di mana energi sinar matahari yang disimpan dalam ikatan kimia. Ketika ikatan antar karbon berdekatan, molekul hidrogen dan oksigen yang rusak oleh pencernaan, pembakaran, atau dekomposisi, zat ini melepaskan dan menyimpan energi kimia mereka (McKendry, 2002).

Energy alternatif biomassa memiliki potensi besar dalam mendukung pasokan energy yang berkelanjutan di masa depan (Heriansyah., 2005). Pengembangan biomassa di Indonesia memiliki potensi dimana ketersediaan biomassa di Indonesia melimpah, hal ini dapat dilihat dari hasil pertanian yang melimpah seperti kelapa sawit, jagung, kelapa, dll. Dari hasil ini tentunya akan menghasilkan limbah yang banyak, yang nantinya hanya terbuang dan tidak dimanfaatkan (Danun dkk., 2005). Biomassa yang umum yang digunakan sebagai bahan bakar adalah yang memiliki nilai ekonomis rendah atau merupakan limbah setelah diambil produk primernya (Parinduri L dan Parinduri T., 2020).

Saat ini, biomassa telah menjadi sumber energi paling penting di setiap wilayah dunia (Thran., 2010). Biomassa memiliki potensi untuk menjadi salah satu sumber energi utama dimasa mendatang, dan modernisasi sistem bioenergi disarankan sebagai kontributor penting bagi pengembanagn energi berkelanjutan di masa depan,khususnya bagi pembangunan berkelanjutan di negara-negara industri maupun di negara-negara berkembang (Berndes dkk., 2003). Sebagai akibatnya, akan terjadi mobilisasi penyediaan biomassa secara besar-besaran sebagai upaya pemenuhan kebutuhan energi di setiap wilayah (Welfe dkk., 2014).

Indonesia memiliki beragam sumber daya alam yang tinggi yang dapat menghasilkan biomassa dalam jumlah yang sangat besar. Energi biomassa dapat menjadi alternatif solusi untuk mengatasi kelangkaan sumber energi bahan bakar minyak dan gas bumi. Kayu merupakan hayati yang serbaguna dan digunakan sebagai alat rumah tangga, senjata dan bahan bangunan. Kayu masih banyak digunakan sebagai bahan bangunan karena harganya yang bisa dibilang murah dibandingkan bahan bangunan lainnya. Kayu juga dapat dijadikan bahan bakar tetapi jika digunakan langsung untuk bahan bakar, kayu memiliki sifat yang kurang baik seperti kadar air dan abu yang tinggi serta nilai kalor yang rendah (Hady dkk., 2015).

Kayu jati (*Tectona grandis*) merupakan jenis kayu daun lebar yang populer dan memiliki nilai ekonomi yang tinggi di Indonesia. Kayu jati memiliki karakteristik

yang baik sehingga penggunaannya juga cukup luas, yaitu sebagai material konstruksi, finis, keperluan outdoor, furnitur, parket atau lapisan penutup lantai (Seftianingsih., 2018). Jati sebagai jenis kayu yang paling populer juga dihasilkan dari hutan tanaman, namun penggunaannya untuk konstruksi ringan, panel kayu, pulp dan kertas, dan kayu energi. Produksi tahunan kayu jati mendominasi sebesar 50.82% produksi kayu bulat Perum Perhutani dan perusahaan lainnya pada 2020, namun menurun menjadi 45,15% pada 2021 (BPS 2020; BPS 2021). Limbah serbuk gergaji kayu jati dapat dimanfaatkan menjadi bahan bakar alternatif, karena pada limbah organik tersebut terdapat biomassa yang mempunyai kandungan karbon. Kandungan karbon yang terdapat pada serbuk gergaji kayu jati inilah yang dapat membantu dalam proses pembakaran (Hermawan., 2014).

Biomassa kayu dapat diolah sebagai sumber bahan bakar untuk produksi energi listrik, bahan baku papan partikel, media tanam dan sebagai bahan baku pembuatan asap cair. Serbuk gergaji kayu merupakan biomassa dari hasil samping unit pemrosesan kayu atau industri yang berbasis furnitur, dari tahapan produksi melalui penggergajian, pengepasan ukuran, perataan tepi, pemangkasan dan perataan kayu atau finishing (Arumsari dkk., 2021). Serbuk gergaji ini mengandung selulosa, hemiselulosa, lignin dan serat. Asap cair yang merupakan hasil kondensasi atau pengebuman dari uap hasil pembakaran yang dapat diperoleh melalui proses pirolisis dari bahan yang mengandung komponen selulosa, senyawa asam, hemiselulosa dan lignin. Asap cair adalah bahan cairan yang berwarna kehitaman yang berasal dari biomassa seperti kayu, kulit kayu dan biomassa lainnya seperti dari limbah kehutanan dan industri hasil hutan melalui proses pirolisis. Mengandung karbon, hidrogen, dan oksigen. Kandungan asam organik dalam asap cair adalah air, tetapi air tidak bersifat kontaminan seperti pada petroleum, karena air bercampur dengan asap cair.

Pirolisis adalah proses dekomposisi suatu bahan pada suhu tinggi tanpa adanya udara atau dengan udara terbatas. Proses pirolisis ini melakukan pembakaran tanpa menggunakan oksigen sehingga biomassa yang digunakan akan terdekomposisi menjadi arang dan sebagian akan menjadi volatile matter yang akan terbagi menjadi

dua jenis yaitu gas dan cair (Ayu dkk., 2021). pirolisis merupakan teknik yang paling menjanjikan dan ramah lingkungan untuk mendegradasi biomassa menjadi berbagai jenis produk (Gupta dan Mondal., 2019).

Berdasarkan latar belakang masalah tersebut, penelitian ini difokuskan untuk mengetahui kualitas dan kuantitas dengan metode pirolisis serta karakteristik pada limbah gergaji kayu jati dengan menggunakan FTIR. Keunggulan dari alat pirolisis sederhana ini ialah karena proses pengerjaannya sangat mudah dan peralatan yang digunakan cukup sederhana. Selain itu proses ini juga tidak membutuhkan waktu yang lama, sehingga dapat menghasilkan asap cair yang dapat digunakan sebagai energi biomassa dengan memanfaatkan limbah dari gas atau uap hasil pembakaran serbuk kayu jati.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana kualitas limbah gergaji kayu jati dengan metode pirolisis?
2. Bagaimana karakteristik gugus fungsi pada limbah gergaji kayu jati dengan metode pirolisis menggunakan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR)?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Untuk mengetahui nilai kalor yang terkandung pada asap cair yang dihasilkan melalui proses pirolisis.
2. Untuk mengetahui karakteristik gugus yang terkandung pada limbah gergaji kayu jati menggunakan metode pirolisis dengan menggunakan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR).

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Memanfaatkan asap cair yang dihasilkan sebagai sumber energi terbarukan.
2. Memberikan pemahaman pada gugus fungsional yang terkandung dalam limbah gergaji kayu jati setelah melalui proses pirolisis.

1.5. Batasan Masalah

Batasan mpada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menggunakan alat pirolisis sederhana untuk menghasilkan asap cair dengan memanfaatkan limbah gergaji kayu jati sebagai bahan bakar.
2. Menggunakan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) untuk mengetahui karakteristik dan gugus yang terkandung pada asap cair.
3. Menggunakan bom kalorimeter untuk menentukan nilai kalor yang terkandung pada asap cair.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terkait

Penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian-penelitian sebelumnya. Beberapa penelitian yang berhubungan dengan topik penelitian ini mengenai energi alternatif biomassa yang dapat digunakan sebagai acuan penelitian agar kemudian dapat dikembangkan kembali untuk penelitian yang akan datang.

Penelitian yang telah dikembangkan oleh Ike Rabiatul Mutmainah (2018) mengenai energi alternatif dengan metode pirolisis. Menggunakan alat pirolisis sederhana untuk menghasilkan asap cair yang berfungsi sebagai bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan. Pirolisis merupakan proses pembakaran suatu material tanpa melibatkan oksigen atau sedikit oksigen. Apabila ada oksigen yang masuk dalam reaktor maka sampel akan terkontaminasi dan berinteraksi dengan oksigen yang ada dalam reaktor dan menyebabkan cairan yang di hasilkan sedikit. Pada proses ini melibatkan penguraian senyawa organik yang menyusun struktur bahan membentuk metanol, uap-uap asam asetat dan hidrokarbon. Material yang tinggal setelah karbonisasi adalah karbon dalam bentuk arang. Berdasarkan hasil pengujian hasil pembakaran limbah gergaji serbuk kayu jati dengan berat sampel 0,5 kg, terlihat peningkatan hasil minyak yang diperoleh dipengaruhi dengan meningkatnya suhu pemanasan, dimana hasil tertinggi diperoleh pada sampel 5 yaitu sebanyak 385 ml dan waktu pembakaran 190 menit. Pada penelitian ini di gunakan 5 variasi waktu, mulai dari 110 menit sampai 190 menit, tujuannya yaitu untuk menentukan waktu optimum dari pembakaran limbah gergaji kayu jati. Banyaknya cairan yang dihasilkan karena dipengaruhi oleh lamanya pembakaran dan meningkatnya suhu.

Handayani dan Sa'diyah., (2022) telah melakukan penelitian mengenai pengaruh waktu pirolisis serbuk gergaji kayu terhadap hasil asap cair. Penelitian ini menggunakan campuran serbuk gergaji kayu jati dan mhoni dengan berat masing-masing 100gram. Proses pirolisis dilakukan dengan variasi waktu 30, 45, 60, 75 dan 90 menit pada suhu 150°C. Hasil dari asap cair dianalisis untuk dihitung volume asap cair, persen yield dan densitas yang dihasilkan. Berdasarkan hasil pengujian pada penelitian ini *Yield* terbesar yang dihasilkan saat waktu pirolisis 90 menit adalah sebesar 58%, sedangkan saat waktu 30 menit hanya menghasilkan asap cair dengan *yield* sebesar 12%. Rendemen hasil asap cair cenderung meningkat seiring bertambahnya waktu pirolisis. Hasil *yield* tertinggi terdapat pada kondisi waktu pirolisis selama 90 menit. Hal ini disebabkan semakin lama waktu pirolisis, semakin banyak bahan baku yang terdekomposisi akibat lamanya waktu kontak panas dengan bahan baku (Komarayanti dkk., 2018). Menurut Nasir dkk., (2008) hal ini disebabkan semakin banyaknya senyawa yang ikut terurai dan terkonversi menjadi asap cair. Banyaknya hasil kondensasi asap cair juga dipengaruhi oleh lamanya waktu pembakaran, hal ini dikarenakan semakin lama proses pirolisis berlangsung konversi asap cair akan semakin bertambah.

Ayu dkk., (2021) telah melakukan penelitian mengenai pirolisis limbah serbuk kayu jati sebagai energi baru terbarukan untuk bahan bakar pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). Penelitian pirolisis ini dilakukan untuk menghasilkan arang dari kayu jati yang pada akhirnya arang yang dihasilkan diharapkan akan memiliki kualitas yang mendekati dari kualitas batubara. Proses pirolisis ini melakukan pembakaran tanpa menggunakan oksigen sehingga biomassa yang digunakan akan terdekomposisi menjadi arang dan sebagian akan menjadi volatil matter yang akan terbagi menjadi dua jenis yaitu gas dan cair. Penelitian ini dilakukan dengan skala laboratorium dimana jumlah umpan, aliran, gas dan juga suhu pembakaran yang dilakukan dibatasi sesuai dengan kemampuan alat uji laboratorium untuk melakukan pengujian pirolisis tersebut. Berdasarkan hasil penelitian ini dari hasil arang yang didapatkan dari pengujian pirolisis, kemudian akan dilakukan pencampuran dengan rasio 5%, 25% dan 50%. Dari pencampuran tersebut kemudiaan dilakukan analisis mengenai hasil pencampuran tersebut, dimana hasil akhir dari pengujian akan

dikomparasi dengan hasil batubara maupun arang tanpa dilakukannya pencampuran, berikut hasil yang telah dilakukan pengujian. Pada hasil pengujian didapatkan hasil berupa perhitungan mengenai nilai kalor yang dihasilkan dari proses blending bahan bakar pada setiap suhu dengan rasio 5%, 25%, dan 50%. Dilihat dari hasil grafik yang didapatkan terlihat kenaikan nilai kalor dari setiap kenaikan suhu dan juga pada setiap penambahan rasio. Nilai kalor disini berhubungan juga dengan energi yang dihasilkan dari setiap arang dan juga campuran batubara yang cukup mendominasi nilai kalor dari hasil pencampuran yang dilakukan, semakin besar nilai kalor yang dimiliki oleh arang maka akan berpengaruh pada hasil blending bahan bakar dimana semakin besar nilai kalor yang terdapat pada arang maka nilai kalor hasil blending pun akan semakin besar. Analisis penentuan Jenis abu dilakukan untuk mengetahui unsur yang terdapat pada bahan bakar hasil blending, dimana dari hasil blending tersebut didapatkan unsur-unsur yang memiliki kaitan terhadap indeks slagging dan juga indeks fouling bahan bakar ketika akan digunakan.

2.2. Energi Alternatif Biomassa

Penggunaan sumber energi terbarukan semakin menjadi perhatian penting di era sekarang. Saat ini, pertumbuhan ekonomi yang cepat di negara maju dan negara industri sangat didukung oleh pemanfaatan energi fosil yang relatif besar dan ekstensif. Pertumbuhan ekonomi dan populasi memicu peningkatan kebutuhan energi primernya. Konsekuensi penggunaan energi ini adalah dampaknya yaitu meningkatnya kadar karbon dioksida di atmosfer. Semakin banyak penggunaannya semakin berat dampak yang ditimbulkannya. Disisi lain, penggunaan energi ini sangat berkontribusi terhadap pemanasan global dan sekaligus perubahan iklim (Gallo dkk., 2016). Oleh karena itu, penggunaan bahan bakar fosil pada waktu yang akan datang harus segera tergantikan. Pemanfaatan energi kedepan mengacu pada penggunaan energi alternatif yang lebih memberikan manfaat baik bagi kehidupan manusia maupun lingkungan (Huakun dkk., 2022). Negara Indonesia terus mengalami peningkatan permintaan energi karena pertumbuhan ekonomi dan populasi. Pertumbuhan rata-rata permintaan energi Indonesia selama sepuluh tahun terakhir adalah sekitar 7%. Mengingat sumber bahan bakar fosil yang relatif sedikit,

Indonesia menghadapi kesulitan dalam memasok energi berkelanjutan. Indonesia memiliki populasi sekitar 3,4% dari populasi global, meskipun cadangan bahan bakar fosilnya jauh lebih sedikit. Indonesia benar-benar memiliki potensi yang besar untuk energi terbarukan.

Salah satu sumber energi alternatif yang menjanjikan adalah biomassa. Biomassa mengacu pada bahan organik yang berasal dari tumbuhan atau hewan, termasuk limbah pertanian, limbah kayu, jerami, limbah makanan, dan banyak lagi. Potensi biomassa yang digunakan sebagai sumber energi sangat besar di Indonesia, dimana potensi biomassa tahunannya mencapai 146,7 juta ton. Sementara potensi biomassa yang dapat dihasilkan dari sampah pada tahun 2020 diperkirakan mencapai 53,7 juta ton (Sulasminingsih dkk., 2023). Biomassa menurut beberapa peneliti memiliki bagian yang bisa dimanfaatkan, bagian tersebut adalah selulosa, hemiselulosa dan lignin. Biomassa memiliki energy rata-rata antara 3000-4500 kg atau gr (Rosihan., 2018).

Di Indonesia, biomassa yang dimanfaatkan sebagai sumber energi (bahan bakar) memiliki nilai ekonomi yang kurang baik atau merupakan limbah yang telah habis hasil utamanya. Potensi sumber daya biomassa Indonesia diproyeksikan sebesar 49.810 MW yang berasal dari tumbuh-tumbuhan dan sampah (Pranoto dkk., 2013). Sampah perkebunan, seperti limbah kelapa sawit, kelapa, dan tebu, serta limbah hasil hutan, seperti limbah gergajian dan limbah pembuatan kayu, memiliki potensi energi yang tinggi saat ini. Limbah tanaman pangan (pertanian) juga ada dalam jumlah yang cukup besar, namun sebagian besar telah dimanfaatkan oleh masyarakat untuk berbagai keperluan (pertanian, energi, dan industri). Ketersediaan sumber daya energi dari biomassa di Indonesia saat ini menjadi masalah yang signifikan untuk perencanaan energi strategis jangka panjang. Pemanfaatannya ini adalah sebagai alternatif pengganti bahan bakar fosil konvensional untuk memenuhi sebagian besar kebutuhan energi nasional. Sumber biomassa, potensi ketersediaannya semakin menjadi perhatian pemerintah sebagai sumber energi alternatif dan menjadi solusi jangka panjang dalam menghadapi kemungkinan kelangkaan energi. Namun terdapat beberapa kendala diantaranya yaitu

meningkatnya tingkat permintaan terhadap energi saat ini yang harus dipenuhi (Kasmaniar dkk., 2023).

Briket arang adalah bahan yang mengandung banyak karbon, berasal dari biomassa yang telah mendapatkan perlakuan panas tanpa udara, pemanasan pada temperatur tinggi dan membutuhkan waktu yang lama. Briket arang dibuat dari beberapa bahan yang bertujuan untuk meningkatkan performa dari briket. Briket arang biasanya dibuat dari bahan baku yang melimpah berasal dari biomassa. Briket arang dibuat dengan memperhatikan hal-hal seperti briket arang harus mudah dalam penyalaan awal, tidak cepat menjadi abu, kadar air rendah, tidak cepat hancur, dan tidak mudah berjamur ketika disimpan pada waktu yang lama. Semakin kecil ukuran butir pembuat briket semakin tinggi nilai kadar karbon semakin lama nyala bara. Semakin rendah kadar air dan kadar zat terbang maka semakin tinggi prosentase kadar karbon (Rozana dan Fikri., 2017). Menurut Ramadani dkk., (2017) dalam penelitiannya menjelaskan bahwa nilai kalor bahan bakar briket tergantung dari unsur penyusunnya karena nilai kalor bahan penyusunnya berbeda – beda.

Menurut Parinduri dan Parinduri., (2020) penggunaan biomassa untuk menghasilkan panas secara sederhana yaitu biomassa langsung dibakar dan menghasilkan panas. Dan panas hasil pembakaran akan dikonversi menjadi energi listrik melalui turbin dan generator. Panas hasil pembakaran biomassa akan menghasilkan uap dalam boiler. Uap akan ditransfer ke dalam turbin sehingga akan menghasilkan putaran dan menggerakkan generator. Putaran dari turbin dikonversi menjadi energi listrik melalui magnet-magnet dalam generator. Agar dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar maka diperlukan teknologi untuk mengkonversi biomassa, diantaranya beberapa teknologi untuk konversi biomassa. Ada perbedaan pada alat yang digunakan untuk mengkonversi biomassa dan bahan bakar yang dihasilkan. Secara umum teknologi konversi biomassa menjadi bahan bakar dapat dibedakan menjadi tiga:

1. Pembakaran langsung, Pembakaran langsung merupakan teknologi yang paling sederhana karena pada umumnya biomassa dapat langsung dibakar. Beberapa

biomassa perlu dikeringkan terlebih dahulu dan didensifikasi untuk kepraktisan dalam penggunaan.

2. Konversi termokimiawi, Konversi termokimiawi merupakan teknologi yang memerlukan perlakuan termal untuk memicu terjadinya reaksi kimia dalam menghasilkan bahan bakar.

3. Konversi biokimiawi, merupakan teknologi konversi yang menggunakan bantuan mikroba dalam menghasilkan bahan bakar.

2.3. Kayu Jati (*Tectona grandis L.f*)

Jati (*Tectona grandis L.f.*) merupakan salah satu jenis kayu yang paling banyak diminati sejak dahulu karena memiliki corak yang unik dan elegan, kuat, awet, stabil, dan mudah dikerjakan. Akibat semakin terbatasnya ketersediaan kayu jati berkualitas di pasaran sejak 5-10 tahun terakhir ini para pengrajin terpaksa untuk menggunakan kayu jati unggul, yaitu (kayu jati cepat tumbuh yang banyak ditanam oleh masyarakat, dan berasal dari pohon muda (dibawah 10 tahun) sebagai bahan baku. Menurut Suryadi (2022) hampir 100% industri mebel dan furnitur kayu jati di Pulau Jawa memanfaatkan kayu jati unggul yang ketersediaannya memang cukup berlimpah. Menurut Wahyudi (2011) beberapa jenis kayu cepat tumbuh Indonesia seperti mangium (*Acacia mangium*), sengon (*Falcataria moluccana*), jabon (*Antocephalus cadamba*) dan lainlain telah berhasil ditingkatkan mutunya. Keberhasilan proses sangat ditentukan oleh jenis kayu dan perlakuan pendahuluan yang diterapkan.

Daryatmo (2000) menyatakan kayu jati telah dianggap sebagai kayu kuat yang sebenarnya. Dilihat dari kualitas kayunya yang kuat dan awet, sejak jaman dahulu kayu jati terbukti memberikan kontribusi nyata dalam kehidupan manusia dengan digunakan sebagai alat produksi pertanian, alat rumah tangga dan bahan armada angkutan. Apresiasi masyarakat terhadap penggunaan bahan baku kayu semakin tinggi, terutama jenis kayu yang dapat menonjolkan nilai estetika seperti kayu jati (Suprpto., 2007). Pemanfaatan kayu sebagai bahan bangunan, maupun sebagai furniture disesuaikan dengan sifat mekanika kayu tersebut. Sifat mekanika merupakan kemampuan bahan untuk menahan beban yang bekerja padanya yang

cenderung untuk merubah bentuk dan ukuran. Berat jenis kayu sangat berhubungan dengan berat kayu dan kekuatan kayu. Makin berat suatu kayu maka kekuatan kayu makin besar, sebaliknya makin ringan kayu itu kekuatannya juga makin kecil. Hidayati dkk., (2016) menjelaskan bahwa seiring pertambahan umur pohon maka berat jenis akan naik, namun pada umur 60 tahun mulai menurun. Sehingga semakin tua umur kayu jati sampai umur 60 tahun maka sifat mekanika kayu akan bertambah.

Tingginya permintaan kebutuhan kayu jati memaksa umur panen kayu jati tidak lagi pada umur 30 tahun keatas tetapi lebih muda seperti umur 20, 15, 10 hingga jati umur 8 tahun. Kualitas kayu jati pada umur muda dan yang siap panen pada umumnya berbeda dari segi kualitas kayu terutama sifat mekanika. Hasil penelitian Lubis (2020) pada pengujian sifat mekanika kayu jati umur 8 tahun menunjukkan nilai rata-rata keteguhan tekan sejajar serat tertinggi pada bagian ujung sebesar 457 kg cm^{-2} . Nilai tekan sejajar serat tergolong kelas kuat. Modulus Patah (MOR) dan Modulus Elastisitas (MOE) adalah 811 kg cm^{-2} dan $87.773 \text{ kg cm}^{-2}$. Dengan demikian hasil uji mekanika kayu jati umur 8 tahun termasuk kayu kelas kuat yang diakibatkan oleh umur panen kayu jati yang terlalu muda. Sehubungan dengan hal tersebut maka penelitian ini perlu dilakukan untuk mengetahui pertumbuhan dan sifat mekanika kayu jati umur 20 tahun di Kota Kendari dan Kabupaten Konawe Selatan. Sehingga diharapkan hasil penelitian ini dapat mendukung pemanfaatan jati yang berasal dari kedua daerah tersebut. Kayu jati yang dapat dilihat pada **Gambar 2.1.**



Gambar 2.1. Kayu Jati (*Tectona Grandis L.f*) (Pujirahayu dkk., 2022).

2.4. Pirolisis

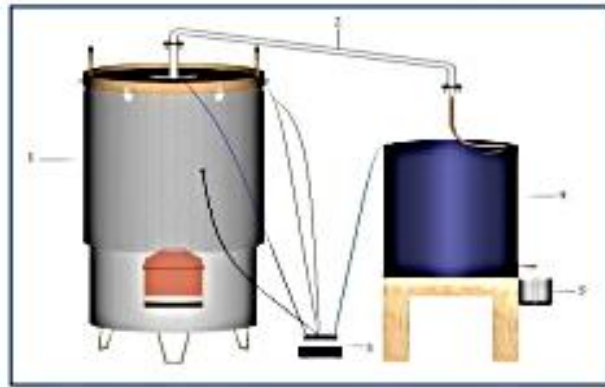
Salah satu teknologi alternatif yang dapat dikembangkan untuk memanfaatkan limbah serbuk gergaji kayu jati yaitu dengan pirolisis biomassa. Senyawa kimia yang terdapat dalam biomassa serbuk kayu jati akan dikonversi menjadi sumber energi hidrokarbon alternatif yang berupa asap cair. Asap cair merupakan salah satu bahan bakar cair berwarna kehitaman yang berasal dari biomassa seperti kayu, kulit kayu dan limbah industri (Mulyono., 2015).

Pirolisis adalah proses pemanasan suatu zat dengan oksigen terbatas sehingga terjadi penguraian komponen-komponen penyusun kayu keras. Pada proses pirolisis energi panas mendorong terjadinya oksidasi sehingga molekul karbon yang kompleks terurai sebagian besar menjadi karbon atau arang. Dan distilasi adalah suatu cara pemisahan larutan dengan menggunakan panas sebagai pemisah atau *separating agent* (Yaman., 2004). Menurut Rhiduan dkk., (2019) pirolisis adalah dekomposisi bahan kimia organik melalui proses pemanasan tanpa atau sedikit oksigen atau reagen lainnya. Dimana material mentah akan mengalami pemecahan struktur kimia menjadi gas. Pirolisis adalah kasus khusus dari thermolysis terkait dengan proses kimia charring dan yang paling sering digunakan yaitu bahan organik. Proses pirolisis dikategorikan menjadi 4 tipe yaitu:

1. Pirolisis lambat (*slow pyrolysis*). Pirolisis yang dilakukan pada pemanasan rata-rata lambat (5-7 menit). Pirolisis ini menghasilkan cairan yang sedikit sedangkan gas dan arang lebih banyak dihasilkan.
2. Pirolisis cepat (*fast pyrolysis*). Pirolisis ini dilakukan pada lama pemanasan 0,5 sampai 2 detik, suhu 400-600 °C dan proses pemadaman yang cepat pada akhir proses. Pemadaman yang cepat sangat penting untuk memperoleh produk dengan berat molekul tinggi sebelum akhirnya terkonversi menjadi senyawa gas yang memiliki berat molekul rendah. Dengan cara ini dapat dihasilkan produk minyak pirolisis yang hingga 75% lebih tinggi dibandingkan dengan pirolisis konvensional.

3. Pirolisis Kilat (*flash pyrolysis*). Proses pirolisis ini berlangsung hanya beberapa detik saja dengan pemanasan yang sangat tinggi. *Flash pyrolysis* pada biomassa membutuhkan pemanasan yang cepat dan ukuran partikel yang kecil sekitar 105 hingga 250 μm .
4. Pirolisis katalitik biomassa. Pirolisis ini untuk membuktikan kualitas minyak yang dihasilkan. Minyak tersebut diperoleh dengan cara pirolisis katalitik biomassa tidak memerlukan teknik pra-pengolahan sampel yang mahal yang melibatkan kondensasi dan penguapan kembali.

Sistem rangkaian Pembakaran pirolisis menggunakan berbagai biomassa yang berasal dari beberapa jenis sumber tumbuhan dapat dilihat pada **Gambar 2.2**.



Gambar 2.2. Sistem rangkaian reaktor pirolisis dan kondensornya.
(Rhidian dkk., 2019)

Pembakaran pirolisis dapat menghasilkan produk utama yang berupa arang (*char*), asap cair (*bio-oil*) dan gas. Pada proses pembakaran pirolisis terdapat beberapa fase yaitu fase pengeringan, terjadi pada suhu 200°C. Fase pirolisis pada suhu 200 hingga 500°C, dan fase evolusi gas terjadi pada suhu 500–200°C. Menurut Setiawan dan Bagus., (2016), karakteristik pirolisis campuran menampilkan 3 macam grafik karakteristik pirolisis, yaitu massa, laju penurunan massa dan temperatur. Tahap yang pertama adalah pengeringan yang ditandai dengan penurunan massa yang berjalan secara lambat. Tahap kedua adalah devolatilisasi yang ditandai dengan penurunan massa yang sangat cepat. Tahap ketiga adalah karbonasi yang ditandai penurunan massa yang kembali melambat.

2.5. Viskositas

Fluida merupakan suatu zat yang dapat mengalir dan terdiri dari kumpulan molekul yang tersusun dengan acak serta menempel akibat adanya sebuah gaya kohesi yang lemah akibat adanya gaya-gaya yang bekerja pada dinding-dinding wadah. Sehingga berdasarkan pengertian tersebut maka yang tergolong fluida yaitu zat gas dan zat cair (Sulistyaningsih dkk., 2021).

Fluida memiliki beberapa karakteristik-karakteristik tertentu pada suatu zat alir yang tak bergantung pada Gerakan fluida (Intang., 2023). Akan tetapi, pada fluida akan bergantung pada sifat alamiah fluida nya atau zat alirnya. Pada hal ini, terdapat salah satu sifat yang menjadi karakteristik dari fluida itu sendiri. Salah satu sifat yang menjadi ketetapan viskositas yaitu adalah sebuah kekentalan (Setiawati dan Radiyono., 2017). Viskositas sendiri merupakan sebuah tahanan aliran fluida yang disebabkan oleh gesekan antar molekul cairan yang satu dengan yang lain (Budianto dkk., 2008). Pada suatu jenis cairan yang sangat mudah mengalir dapat disebut dengan viskositas rendah, sedangkan cairan fluida yang memiliki jenis kekentalan yang kental sapat disebut dengan viskositas tinggi. Hal ini disebabkan karena sebuah viskositas fluida yaitu dapat mengukur kekentalan pada suatu fluida (Regina dkk., 2018). Viskositas adalah kekentalan suatu zat cair yang disebabkan oleh gesekan antar molekul-molekul penyusun zat cair tersebut. Viskositas dikenal juga sebagai ketahanan suatu fluida ketika menerima gaya luar. Viskositas hanya ada pada fluida nyata (*real fluid*). Secara sederhana viskositas dapat diukur dengan mengukur laju aliran cairan melalui beban yang dicelupkan ke dalam fluida dengan volume tertentu (Sidiq dan Drajat., 2016).

Pada sifat kekentalan ini memiliki nilai koefisien yang berbeda-beda. Pada fluida yang mengukur kekentalan atau viskositas memiliki sebuah alat ukur yang dinamakan dengan viskometer. Viskometer merupakan sebuah alat untuk dapat mengukur kekentalan pada suatu fluida. Alat ukur viskometer ini juga dapat digunakan untuk mengukur suatu kekentalan zat cair dengan lebih akurat dan juga spesifik dengan standar yang sudah ditentukan. Dalam viskositas ada

faktor yang dapat mempengaruhi yaitu ada konsentrasi larutan, suhu, berat molekul yang terlarut dan juga sebuah tekanan.

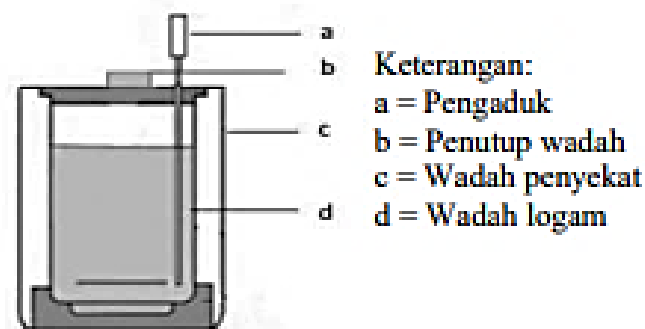
Pada viskositas sendiri memiliki hasil yang berbanding terbalik dengan suhu. Apabila suhu tersebut mengalami kenaikan maka viskositas fluida tersebut akan turun dan apabila suhu tersebut mengalami penurunan suhu maka suhu kekentalannya lebih besar. Apabila suatu larutan yang memiliki konsentrasi yang tinggi akan memiliki viskositas yang tinggi pula dan apabila larutan konsentrasinya rendah maka viskositasnya juga rendah. Pada konsentrasi larutan dapat menyatakan bahwa banyaknya partikel pada zat yang terlarut tiap satuan volume. Hal ini dapat dinyatakan dengan, semakin banyak suatu partikel yang akan terlarut pada antar gesekan partikel maka akan semakin tinggi dan nilai viskositasnya akan semakin tinggi. Pada berat molekul terlarut viskositas akan berbanding lurus dengan berat molekul yang akan terlarut. Tekanan pada hal ini juga akan semakin tinggi apabila viskositasnya juga tinggi. Pada hal ini tekanan dan viskositas akan berbanding lurus pada suatu cairan (Lumbantoruan., 2016).

2.6. Kalorimeter Bom

Energi merupakan kebutuhan pokok bagi manusia dan salah satu dari prioritas riset nasional pada tahun 2020 sampai 2024. Pada saat ini sumber energi yang digunakan didominasi oleh sumber energi tak terbarukan seperti solar, pertalite/pertamax, batu bara dan sumber energi lainnya. Sedangkan sumber energi terbarukan yang potensial untuk dikembangkan pada saat ini yaitu biogas, biomassa dan sumber energi terbarukan lainnya. Salah satu faktor yang menjadi pertimbangan dalam pemilihan bahan bakar sebagai sumber energi didasarkan pada nilai kalor dari bahan bakar tersebut (Marfuddin dkk., 2022).

Kalorimeter adalah alat yang digunakan untuk menentukan kapasitas kalor, kapasitas kalor jenis, dan kapasitas kalor laten dari suatu benda atau bahan (Marfuddin dkk., 2022). Alat kalorimeter yang sering digunakan dalam percobaan di laboratorium adalah kalorimeter gelas atau kalorimeter termos. Wadah

kalorimeter ini terbuat dari logam dan dilapisi oleh bahan isolator untuk mencegah hilangnya kalor dari wadah logam ke lingkungan. Prinsip kerja alat ini adalah mengukur perubahan suhu dan perkiraan kapasitas kalor, umumnya kapasitas kalor wadah dapat diabaikan karena relatif sangat kecil. Bentuk kalorimeter sederhana dapat dilihat pada **Gambar 2.3**.

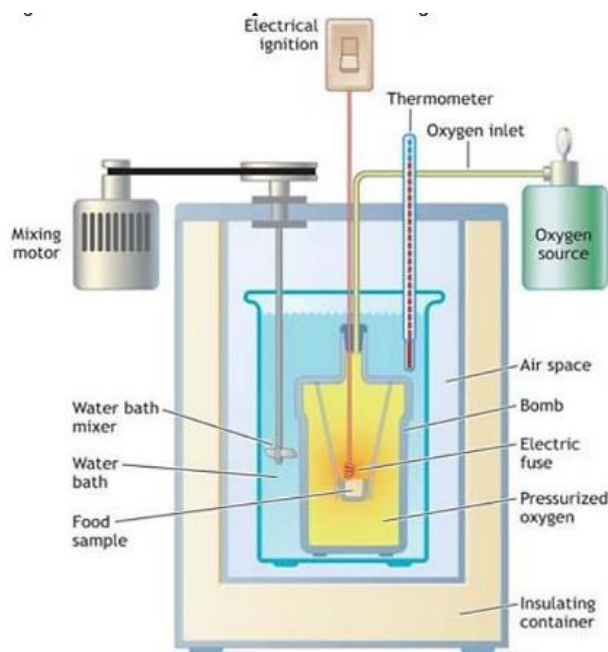


Gambar 2.3. Kalorimeter Sederhana (Noviyanti dan Hufri., 2018)

Kandungan energi suatu bahan bakar adalah merupakan energi kimia yang dapat diperoleh menjadi energi panas dengan melakukan pembakaran yaitu reaksi kimia antara unsur bahan bakar dengan oksigen. Besarnya energi pembakaran dalam joule per gram (J/gr) kilojoule per kilogram (kJ/kg) atau kilokalori per kilogram (kkal/kg).

Nilai kalor bahan bakar merupakan nilai yang diperoleh dari hasil pengujian bahan bakar menggunakan kalorimeter bom (Marfuddin dkk., 2022). Kalorimeter bom merupakan sebuah alat yang berfungsi untuk menghitung nilai kalor yang dibebaskan pada pembakaran sempurna dalam oksigen berlebih suatu materi. Di Indonesia belum banyak yang melakukan penelitian lebih lanjut mengenai kalorimeter bom (Nikmah dkk., 2018). Menurut Noviyanti dan Hufri., (2020) persentase ketepatan dari pembacaan suhu yaitu sebesar 99.38% dengan persentase kesalahan 0.62%. persentase ketepatan dari pembacaan massa yaitu sebesar 99.46% dengan persentase kesalahan 0.54% (Noviyanti dan Hufri., 2018). Ada beberapa faktor yang mempengaruhi akurasi hasil pengujian kalorimeter bom yaitu isolator dan alat uji temperatur (Herlambang dan Djuhana., 2016) . Selain itu, hasil pengujian kalorimeter bom juga dipengaruhi oleh proses pembakaran yang terjadi.

Pemilihan bahan isolator panas berdasarkan pada nilai konduktivitas panas dan kemudahan memperolehnya serta faktor harga. Semakin baik isolator maka semakin sedikit pula kalor yang keluar dan hasil pengukuran yang diperoleh akan semakin akurat. Alat ukur temperatur yang digunakan pada kalorimeter bom akan mempengaruhi akurasi hasil pengukuran. Untuk itu dipilih alat ukur yang memiliki akurasi yang relatif tinggi dan mudah dalam membaca hasil pengukuran (Nainggolan dan Fahmi., 2016). Secara umum prinsip kerja kalometer bom dapat dilihat pada **Gambar 2.4**.



Gambar 2.4. Prinsip Kerja Kalorimeter Bom (Nainggolan dkk., 2016)

Kalor merupakan bentuk energi yang terjadi akibat adanya perubahan suhu. Jadi perubahan kalor pada suatu reaksi dapat diukur melalui pengukuran perubahan suhu yang terjadi (Kurniawan., 2017).

2.7. *Fourier Transform Infra Red (FTIR)*

Dalam beberapa tahun terakhir, aplikasi *inframerah transformasi fourier* (FTIR) spektroskopi telah berkembang pesat melampaui karakterisasi struktural sederhana dari molekul (Theakstone dkk., 2021). Spektrofotometri *Fourier Transform Infrared* (FTIR) merupakan metode pengukuran secara spektroskopi untuk mendeteksi struktur molekul senyawa (Martin., 2018). Pada pengukuran sampel

menggunakan instrument Spektrofotometer FT-IR, hasil pengukuran yang diperoleh berupa spektrum. Berdasarkan spektrum tersebut dapat dilakukan identifikasi senyawa baik secara kualitatif maupun kuantitatif (Andriansyah dkk., 2021).

Teknik spektrometri IR dapat digunakan dalam dua varian yaitu transmisi dan reflektansi. Transmisi digunakan untuk menguji efek dari penyerapan radiasi IR dalam volume sampel. Hal ini dimungkinkan untuk menguji sampel dalam bentuk padat, cair dan gas dengan menggunakan prosedur yang tepat. Spektrum padatan dapat diukur dengan menggunakan spesimen dalam tablet dari KBr, NaCl, sampel cairan/suspensi dalam parafin cair. Jika objek yang diuji cukup tipis dan transparan, spektrum yang diukur langsung pada sampel (Ferraro., 2014). Terdapat tiga teknik pengukuran sampel yang umum digunakan dalam pengukuran spektrum menggunakan FT-IR yaitu *Photo Acoustic Spectroscopy* (PAS), *Attenuated Total Reflectance* (ATR), dan *Difuse Reflectance Infrared Fourier Transform* (DRIFT). Setiap teknik memiliki karakteristik molekul vibrasi tertentu (Beasley dkk., 2014). Selain teknik pengukuran sampel, teknik preparasi sampel merupakan aspek yang penting untuk diperhatikan dalam pengujian menggunakan FTIR.

Menurut Hayati dan Hanapi., (2017), ada 3 cara umum untuk mengolah cuplikan yang berupa padatan yaitu, lempeng KBr, teknik nujol “mull” dan lapisan tipis. Padatan dapat juga ditetapkan sebagai larutan, tetapi spektrum larutan mempunyai hasil yang berbeda dengan spektrum padatan, karena gaya intermolekul berubah. Menurut Martin., (2018), optimasi pengukuran spektrum vibrasi sampel menggunakan spektrofotometer *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) dipengaruhi perbandingan komposisi pellet sampel-KBr. Di samping itu pada variasi ketebalan pelet sampel-KBr, nilai persen transmitansi spektrum yang dihasilkan juga berbeda. Intensitas puncak berkorelasi dengan konsentrasi (Rohman, 2014), diperoleh hubungan yang linier antara konsentrasi dengan tinggi puncak (Nasution., 2019).

Namun, jika konsentrasi terlalu pekat (jumlah sampel berlebih) berdampak pada kualitas spektrum hasil pengukuran (Sulistiyani dan Huda., 2017). Jika sampel yang

ditembak dengan sinar inframerah terlalu tebal maka sinar inframerah akan terhambur tidak optimal. Hal ini menyebabkan puncak-puncak yang terjadi pada spektra inframerah tidak akurat dan melebar. Selain itu setiap alat memiliki tingkat sensitifitas tertentu yang dipengaruhi oleh tipe alat dan juga umur (masa pakai) alat.

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Desa Labuhan Dalam, Kecamatan Tanjung Senang, Bandar Lampung. Analisis sampel dilaksanakan di Unit Pelaksana Teknis Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (UPT LTSIT) Universitas Lampung dan Laboratorium Analisis Politeknik Negeri Lampung pada Februari s.d. April 2025.

3.2. Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan Bahan yang digunakan sebagai berikut.

1. *Fourier Transform Infra Red* (FTIR), digunakan untuk menganalisis gugus fungsional pada sampel.
2. Kalorimeter Bom, digunakan untuk mengukur nilai kalor (panas) yang terlibat dalam suatu perubahan atau reaksi kimia.
3. Neraca Analitik, digunakan untuk mengukur massa sampel.
4. Rangkaian alat pirolisis yang terdiri atas :
 - a. Tabung reaktor, digunakan untuk proses pemanasan limbah gergaji kayu jati;
 - b. Gas LPG 3 kg, digunakan sebagai bahan bakar sebagai pemanas reaktor pirolisis;
 - c. Kondensor, digunakan untuk menurunkan suhu dan mengkondensasikan uap panas;
 - d. Pipa besi, digunakan sebagai tempat aliran cairan gas hasil penguapan pirolisis;

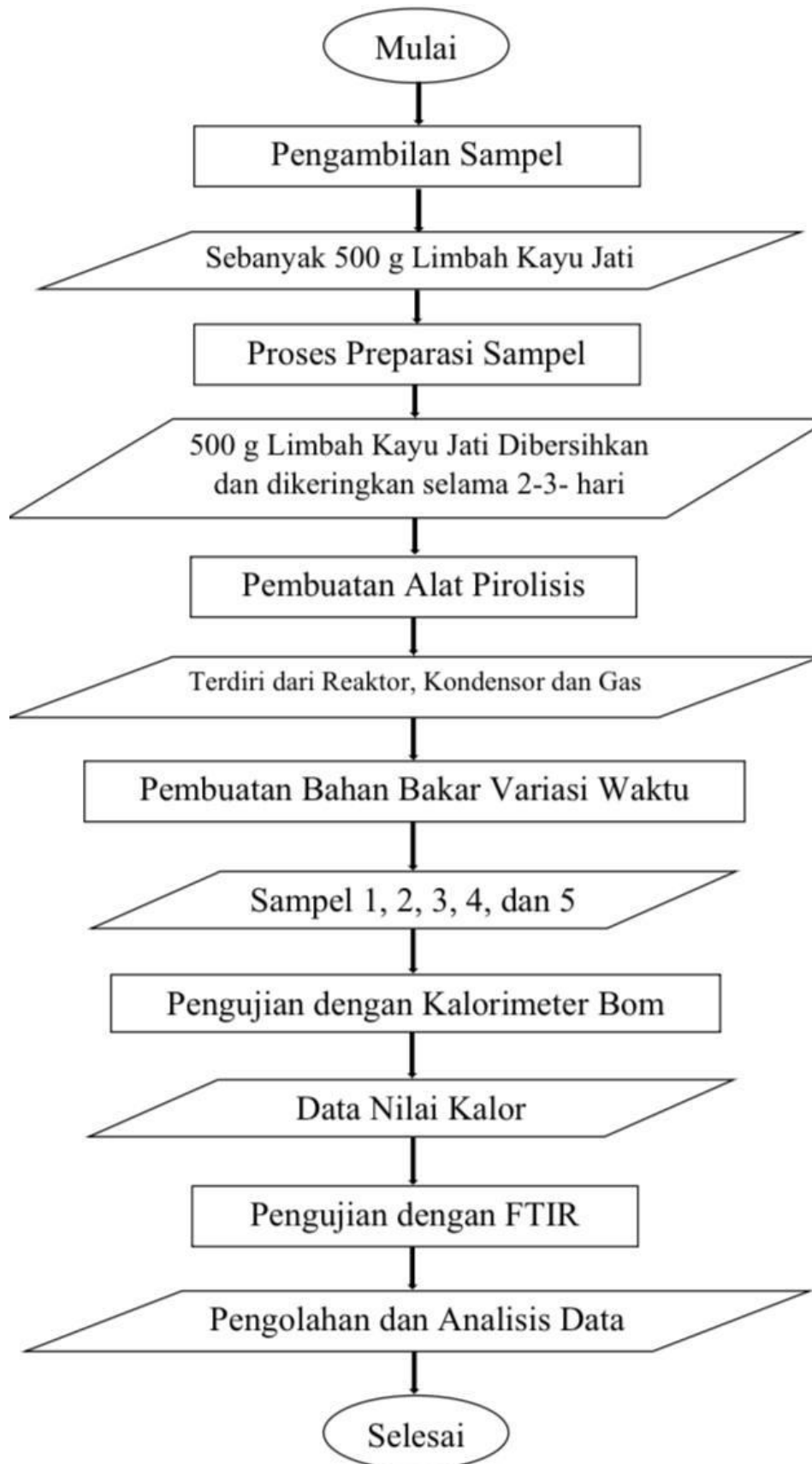
- e. Selang, digunakan untuk mengalirkan air pendingin dari tabung penampungan air menuju kondensor dan radiator;
 - f. *Termocouple*, digunakan untuk mengukur nilai parameter suhu dan laju pemanasan dari reaktor;
 - g. *Termocouple Reader*, digunakan untuk membaca suhu yang diukur oleh thermocouple;
5. Gelas Sampel, digunakan untuk menampung sampel-sampel yang akan diuji.

Selain alat-alat tersebut, bahan-bahan komponen lain yang digunakan pada penelitian ini yaitu :

- 1. Limbah gergaji kayu jati, sebagai bahan utama pada pembuatan sampel.
- 2. Tissue, digunakan untuk membersihkan alat alat yang akan digunakan.
- 3. Kertas Saring, digunakan untuk menyaring hasil sample dari proses pirolisis.

3.3. Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan melalui beberapa tahapan, yaitu studi literatur, preparasi sampel, pembuatan alat pirolisis, pembuatan bahan bakar variasi waktu, penentuan nilai kalor, dan uji FTIR.



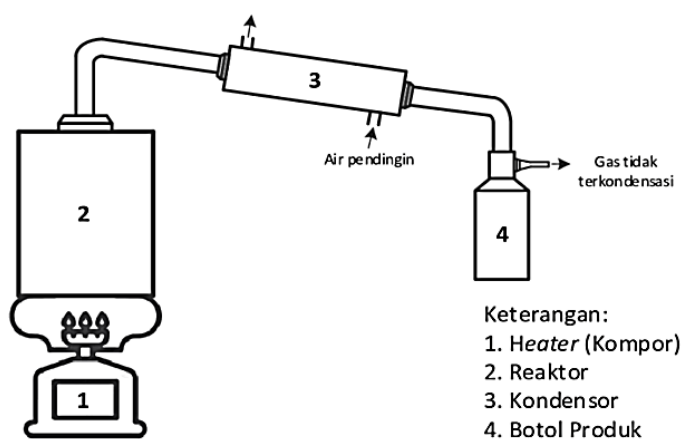
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

3.3.1. Preparasi Sampel

Preparasi sampel dilakukan dengan mengumpulkan sebanyak 500 g limbah gergaji kayu jati yang diperoleh dari desa Sukamara, Kec. Bulok, Kab. Tanggamus, Provinsi Lampung. Limbah gergaji kayu jati terlebih dahulu dibersihkan kemudian dikeringkan di bawah sinar matahari selama 2-3 hari. Menimbang sebanyak 500g untuk 5 variasi waktu (90, 110, 130, 150, dan 170 menit).

3.3.2. Pembuatan Alat Pirolisis

Pembuatan alat pirolisis dilakukan dengan menyiapkan alat dan bahan seperti tabung reaktor, gas LPG 3 kg, kondensor, pipa besi, selang dan termokopel. Dimulai dengan menyiapkan reaktor dengan tinggi 40 cm dan lebar 30 cm lalu dihubungkan atau disambungkan dengan pipa besi berdiameter 3 cm dengan tinggi 30 cm. Kemudian ujung pipa disambung kembali dengan pipa besi berdiameter 3 cm dengan panjang 70-80 cm dengan sedikit pipa mengarah ke bawah dengan kemiringan 15 derajat. Selanjutnya ujung pipa disambung lagi dengan pipa besi dengan tinggi 10-20 cm dan terhubung dengan penampungan, Lalu memasang sebuah kondensor sebagai pendingin (Mutmainah., 2017). Desain alat pirolisis sederhana ditunjukkan pada **Gambar 3.1**.



Gambar 3.1. Desain alat pirolisis (Mutmainah., 2017).

3.3.3. Pembuatan Bahan Bakar Variasi Waktu

Pengujian pengaruh suhu dan waktu pembakaran dilakukan dengan pengambilan data pada thermokopel. Data yang diperoleh pada penelitian ini yaitu data variasi waktu pembakaran, sedangkan pengukuran suhu dilakukan langsung didalam reaktor (Mutmainah., 2017). Rancangan data pengujian pembuatan bahan bakar variasi waktu ditunjukkan pada **Tabel 3.1**.

Tabel 3.1. Pengaruh suhu dan waktu pembakaran

No.	Volume Sampel (g)	Waktu Pembakaran (menit)	Hasil (ml)
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			

Pembuatan bahan bakar variasi waktu dilakukan dengan memisahkan limbah gergaji kayu jati yang hendak dipirolisis. Limbah dibagi menjadi dua bagian, yaitu bagian halus dengan yang kasar. Untuk mempermudah limbah masuk dan ditempatkan ke dalam reaktor. Menyelipkan kabel thermokopel ke dalam reaktor untuk mengukur suhu pemanasan. Pengukuran suhu dilakukan langsung di dalam reaktor. Waktu pembakaran dilakukan selama 1 jam 30 menit, kemudian dilanjutkan 1 jam 50 menit, 2 jam 10 menit, 2 jam 30 menit, dan yang terakhir 2 jam 50 menit, hingga total pembakaran kurang lebih selama 10 jam 8 menit. Gas yang mampu melewati pipa refluks kemudian menuju kondensor yang dilengkapi pendingin air, kemudian mengembun sebagian dan dihasilkan bahan bakar cair (Ningrum., 2011). Thermokopel ditunjukkan pada **Gambar 3.2**.



Gambar 3.2. Thermokopel (Ningrum., 2011).

3.3.4. Penentuan Nilai Kalor

Pengujian nilai kalor pada sampel dilakukan dengan pengambilan data pada alat kalorimeter bom. Data yang diperoleh pada penelitian ini yaitu data nilai kalor bakar dari limbah serbuk gergaji kayu jati, dan menunjukkan hasil nilai kalor pembakaran pada setiap sampelnya (Mutmainah., 2017). Rancangan data pengujian nilai kalor ditunjukkan pada **Tabel 3.2**

Tabel 3.2. Data pengujian nilai kalor biodiesel

No.	Kode Sampel	Nilai Kalor (cal/g ⁰)	Nilai Kalor (Joul/g)
1.	I		
2.	II		
3.	III		
4.	IV		
5.	V		

Kalor merupakan bentuk energi yang terjadi akibat adanya perubahan suhu. Jadi perubahan kalor pada suatu reaksi dapat diukur melalui pengukuran perubahan suhu yang terjadi. Nilai kalor dapat diperoleh dengan menggunakan **Persamaan 3.1.**

$$\text{Nilai Kalor (J/g)} = \text{Nilai Kalor (cal/g)} \times 4,184 \quad (3.1.)$$

Penentuan nilai kalor dilakukan dengan menimbang bahan bakar (sampel) yang akan diukur dengan neraca analitik sebesar 0,10 g. Menyiapkan kawat untuk penyalanya dengan menggulungnya dan memasangnya pada tangkai penyalanya yang terpasang pada penutup bom. Menempatkan cawan berisi bahan bakar yang ditetesi dengan bahan bakar (sampel) 0,5 gram pada ujung tangkai penyalanya. Tutup bom dengan kuat setelah dipasang ring-O dengan memutar penutup tersebut. Isikan oksigen kedalam bom dengan tekanan 15-20 barr.

Menempatkan bom yang telah terpasang didalam kalorimeter. Memasukkan air pendingin sebanyak 2 l. Menutup kalorimeter dengan alat penutupnya. Menghidupkan pengaduk air pendingin selama 2 menit sebelum penyalan dilakukan. Membaca dan mencatat temperatur air pendingin, menghidupkan penyalan, menggunakan tombol yang paling kanan. Air pendingin terus mengaduk selama 7 menit setelah penyalan berlangsung. Membaca dan mencatat kembali temperatur air pendingin. Mematikan pengaduk, menyiapkan kembali peralatan untuk pengujian berikutnya. Melakukan pengukuran untuk suatu bahan bakar yang diuji/diukur (Mutmainah., 2017). Kalorimeter bom ditunjukkan pada **Gambar 3.2**.

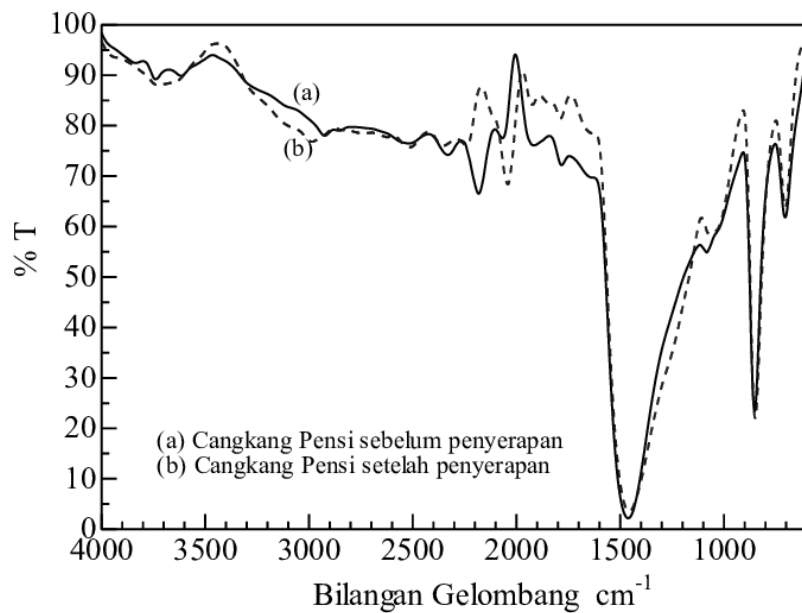


Gambar 3.2. Bom Kalorimeter (Mutmainah., 2017).

3.3.5. Uji FTIR

Menyiapkan sampel yang akan diuji, kemudian memasukkan sekitar 200 mgr KBr dan meneteskan sampel pada KBr tersebut lalu menghaluskan sampel bersama KBr. Membuat plet dari campuran tersebut menggunakan alat press dan pre-vakum

selama 2-3 menit. Meletakkan plet yang sudah jadi pada lintasan sinar FTIR. Kemudian melakukan pengukuran dengan alat FTIR dan mengamati grafik yang terbentuk. Mengulangi langkah tersebut dengan 2-5 sampel. Grafik FTIR ditunjukkan pada **Gambar 3.3**.



Gambar 3.3. Grafik FTIR (Anam., 2017).

IV. SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan dari penelitian ini maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Asap cair hasil pirolisis limbah kayu jati menunjukkan rata-rata nilai kalor sebesar 11.625,84 J/g dari lima variasi waktu pirolisis, dengan rentang nilai antara 9.078,67 J/g hingga 15.982,62 J/g, yang mengindikasikan bahwa asap cair tersebut berpotensi sebagai sumber energi alternatif meskipun efisiensinya masih dipengaruhi oleh kadar air yang tinggi.
2. Hasil uji FTIR menunjukkan adanya gugus -OH pada bilangan gelombang daerah 3300 cm^{-1} dan gugus CH pada panjang gelombang 1410 cm^{-1} . Gugus $\text{C}\equiv\text{C}$ pada daerah 2100 cm^{-1} dan $\text{C}=\text{C}$ pada daerah 1640 cm^{-1} , ikatan C-N pada daerah 1270 cm^{-1} , dan ikatan CO pada daerah 1010 cm^{-1} . Kehadiran gugus-gugus ini menandakan adanya senyawa hidrokarbon dan senyawa organik lain yang berpotensi sebagai bahan bakar cair ramah lingkungan.

5.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, saran yang dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya yaitu melakukan proses pirolisis melakukan proses pirolisis pada temperatur dan waktu yang lebih tinggi guna meningkatkan efisiensi dekomposisi biomassa dan memperoleh hasil asap cair yang lebih banyak serta berkualitas. Selain itu, disarankan untuk memodifikasi alat pirolisis agar proses

berlangsung secara tertutup tanpa masuknya oksigen, sehingga dapat mencegah pembakaran parsial dan mengurangi kadar air dalam asap cair. Penelitian selanjutnya juga dapat mempertimbangkan penggunaan sistem pendingin (kondensor) yang lebih efisien untuk mengoptimalkan proses kondensasi senyawa volatil, serta melakukan analisis lanjutan seperti GC-MS guna mengetahui komposisi kimia asap cair secara lebih detail. Di samping itu, penggunaan variasi bahan baku limbah kayu atau campuran biomassa juga dapat dieksplorasi untuk membandingkan kualitas dan kuantitas produk pirolisis yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Almeida, C. M., et al. (2010). Identification of bio-oil components using FTIR and GC–MS. *Energy Research Fuel*, 89(12), 3865–3871.
- Anam, C., Sirojudin., & Firdausi, S. (2007). Analisis Gugus Fungsi pada Sample Uji, Bensin dan Spiritus Menggunakan Metode Spektroskopi FTIR. *Jurnal Berkala Fisika*. 10(1), 79-85.
- Andriansyah, I., Wijaya, H. N. M., & Purwaniati, P. (2021). Analisis Adulteran pada Kopi Luwak dengan Metode Fourier Transform Infrared (FTIR). *Jurnal Kimia Riset*. 6(1), 26.
- Andrianto, Eko, M., Marlina, E., & Robbi, N. (2023). Karakteristik Pembakaran Wood Pellet Serbuk Jati dan Bambu Betung dengan Metode Single Wood Pellet. *Jurnal Teknik Mesin*, 3(5), 59.
- Anggraini, S., Nurhafifah., & Sutiawan, J. (2023). Suatu Tinjauan Kecocokan Kayu Jati (*Tectona Grandis* Linn F) Cepat Tumbuh Untuk Bahan Baku Furnitur. *Jurnal Kehutanan Papuasiasia*, 9(1), 70.
- Antal, M. J., & Grønli, M. (2003). The Art, Science, and Technology of Charcoal Production. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 42(8), 1619–1640.
- Arumsari, A. Rahminar, I. Handayani, W. Pujiyanto & K. Sa'diyah. (202). Karakteristik Asap Cair dari Jenis Serbuk Kayu. *Jurnal Distilat*, 7(1), 77.
- Azargohar, R., & Dalai, A. K. (2008). Biochar as a precursor of activated carbon. *Fuel. Journal Chemical Engineering*, 87(15–16), 2972–2980.
- Beasley, M. M., Bartelink, E. J., Taylor, L., & Miller, R. M. (2014). Comparison of transmission FTIR, ATR, and DRIFT spectra: Implications for assessment of bone bioapatite diagenesis. *Journal of Archaeological Science.*, 4(6,),58-72..
- Berndes., Hoogwijk., & Broek. (2003). The contribution of biomass in the future global energy supply: a review of 17 studies. *Journal of Biomass and Bioenergy*, 25(05), 1-28.

- Brebu, M., & Vasile, C. (2010). Thermal degradation of lignin – a review. *Cellulose Chemistry and Technology*, 44(03), 353–363.
- Bridgwater, A. V. (2012). Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading. *Biomass and Bioenergy*, 38(07), 68–94.
- Budianto, A., Tinggi, S., Nuklir -Batan, T., Nuklir-Batan, T., & Kotak, J. B. (2008). *Seminar Nasional IV SDM Teknologi Nuklir Metode Penentuan Koefisien Kekentalan Zat Cair Dengan Menggunakan Regresi Linear Hukum Stokes Anwar Budianto*.
- Danun N. T., Pasak G. P., Simak B. M., & Lolo J. A. (2005). *Seminar Nasional Fisika*. 9(2). 126-135.
- Daryatmo. (2000). *Peluang Budidaya Jati Unggul*. Penebar swadaya. Jakarta.
- Demirbaş, A. (2004). Effect of initial moisture content on the yield of oil from pyrolysis of biomass. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 71(2), 803–815.
- Dewi, A., Nurhadi., & Pulungan, L. (2021). Pirolisis Limbah Serbuk Kayu Jati Sebagai Energi Baru Terbarukan Untuk Bahan Bakar Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). *Jurnal Prosiding Teknik Pertambangan*. 7(1). 110.
- Ferraro, J. R. (2014). *Practical Fourier Transform Infrared Spectroscopy : Industrial and laboratory chemical analysis*. Saint Louis : Elsevier Science.
- Gallo, A. B., Simões-Moreira, J. R., Costa, H. K. M., Santos, M. M., & Dos Santos, E. M. (2016). Energy storage in the energy transition context: A technology review. *Journal of Renewable and sustainable energy reviews*, 6(5), 800-822.
- Gupta, A., & Mondal, P. (2019). Experimental process parameters optimization and in-depth product characterizations for teak sawdust pyrolysis. *Journal of Waste Management*, 8(7), 499–511.
- Hady., Zam., & Putranto. (2015). Karakteristik Pellet Kayu Gmelina (Gmelina arborea Roxb). *Jurnal Kehutanan*, 411(1). 1–7.
- Handayani, I & Sa'diyah, K. (2022). Pengaruh Waktu Pirolisis Serbuk Gergaji Kayu Terhadap Hasil Asap Cair. *Jurnal Teknologi Separasi*, 8(1), 405-430.
- Hayati, E. K., & Hanapi, A. (2017). *Diktat Praktikum Kimia Instrumen. Laboratorium Kimia Instrumen Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang*.
- Heriansyah, I. (2005). Potensi pengembangan energi dari biomassa hutan di Indonesia. *Jurnal Inovasi*, 5(17), 34-38.

- Herlambang, B., & Djuhana, (2016). *Modifikasi Sebuah Prototipe Kalorimeter Bahan Bakar (Bomb Calorimetry) Untuk Meningkatkan Akurasi Pengukuran Nilai Kalor Bahan Bakar Cair. Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2016 Prodi Teknik Mesin Universitas Pamulang Pamulang, 12 November 2016.*
- Hermawan, B, M. (2014). Pemanfaatan Briket Bioarang Dari Limbah Serbuk Kayu Jati dan Jenggel Jagung Serta Tepung Kanji Sebagai Bahan Bakar Alternatif. *Jurnal Teknik Mesin*, 2(3), 83-98.
- Hidayati., Fajrin., Ridho., Nugroho., Marsoem & Na'iem. (2016). Sifat fisika dan mekanika kayu jati unggul “Mega” dan kayu jatikonvensional yang ditanam di hutan pendidikan Wanagama, Gunungkidul, Yogyakarta. *Jurnal ilmu kehutanan*. 10(2), 105-130.
- Huakun, H., Wendong, X., Peng, J., & Yong, L. (2022). Bibliometric analysis for ocean renewable energy: An comprehensive review for hotspots, frontiers, and emerging trends. *Journal of Renew Sustain Energy Rev*. 16(7), 112-139
- Intang, A. & J. B. (2023). Analisa Pengaruh Kekerasan Permukaan Terhadap Kapasitas Aliran Viskositas dan Tinggi Aliran dalam Pipa. *Teknika. Jurnal Teknik*. 9(2), 136–142.
- Kasmaniar., Yana, S., Nelly., Fitriliana., Susanti., Hanum Filia., & Rahmatullah, A. (2023). Pengembangan Energi Terbarukan Biomassa dari Sumber Pertanian, Perkebunan dan Hasil Hutan: Kajian Pengembangan dan Kendalanya. *Jurnal Serambi Engineering*. 8(10), 49-59.
- Komarayanti, S., Gusmailina, G. & Efiyanti. (2018). Karakteristik dan Potensi Pemanfaatan Asap Cair Kayu Trema, Nani, Merbau, Matoa, dan Kayu Malas, *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*. 3(6), 219-238.
- Kurniawan H., (2017). Analisis Pengaruh Kandungan Logam Berat Terhadap Energi Pembakaran Batubara. *CIRCUIT: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*. 1(2), 121-128.
- Lehmann, J., & Joseph, S. (Eds.). (2015). *Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation*. Routledge.
- Lubis, P.A. (2020). *Uji sifat mekanika kayu jati (tectona grandis L.f) umur 8 tahun di desa Andinete Kabupaten Konawe Selatan [skripsi]*. Universitas Halu Oleo.Kendari.
- Lumbantoruan, P., & Erislah, E. (2016). Pengaruh suhu terhadap viskositas minyak pelumas (oli). *Jurnal Ilmiah Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam*. 13(2), 173-190.
- Manya, J. J. (2012). Pyrolysis for biochar purposes: A review to establish current knowledge gaps and research needs. *Environmental Science & Technology*, 46(15), 7939–7954.

- Marfuddin, F., Handono, S. D., Mustofa., Mujiyanto, E., & Saputra, R. (2022). Kinerja Bom Kalorimeter Sebagai Alat Ukur Nilai Kalor Bahan bakar. *Jurnal Program Studi Teknik Mesin*. 11(1), 230-255.
- Martin, S. (2018). Spektroskopi Fourier Transform Infra Red Metode Reflektansi (Atr-Ftir) Pada Optimasi Pengukuran Spektrum Vibrasi Vitamin C. *Jurnal Temapela*. 1(2). 39–43.
- Maulina, S., & Putri, F. S. (2017). Pengaruh suhu, waktu dan kadar air bahan baku terhadap pirolisis serbuk pelepah kelapa sawit. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 6(2), 35–40.
- McKendry. (2002). Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *Journal of Bioresource Technology*. 83, 37-46.
- Mohan, D., Pittman Jr, C. U., & Steele, P. H. (2006). Pyrolysis of wood/biomass for bio-oil: A critical review. *Journal Energy & Fuels*, 20(3), 848–889.
- Mubarak, N., & Ahmad, I. (2018). Fourier Transform Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Application in Functional Groups and Nanomaterials Characterization. *Journal Chemical Engineering*, 64(3), 340–350.
- Mulyono. (2015). Pengaruh Waktu dan Kecepatan Pengadukan Pada Distilasi Asap Cair Hasil Pirolisis Limbah Gergaji Kayu Jati. *Jurnal Teknik Kimia*. 15(7). 77-78.
- Mutmainah, I, R. (2018). *Pemanfaatan Limbah Kayu Jati (Tectona Grandis L.f) Sebagai Energi Alternatif dengan Metode Pirolisis*. Skripsi. Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negri Alauddin Makassar.
- Nainggolan R., & Fahmi, H, F., (2016). Menguji Akurasi Bom Kalorimeter Ika C200 Ver 1.12 Dengan Sampel Batu Bara, Cangkang & Serat Sawit, Minyak Solar Dan Bensin. Polimedia. *Jurnal Pendidikan Fisika*. 36(3), 540-565.
- Nasir., Subriyer., Doni., Marian., Andonie., & Rigel. (2008). Pengaruh Kondisi Operasi pada Pembuatan Asap Cair dari Ampas Tebu dan Serbuk Gergaji Kayu Kulim. *Jurnal Teknik Kimia Universitas Sriwijay.*, 15(4). 8-15.
- Nasution, M, A. (2019). *Penetapan Kadar Kloramfenikol dalam Sediaan Kapsul dengan Nama Dagang dan Generik Secara Spektrofotometri Fourier Transform Infra Red (FTIR)*. Skripsi. Fakultas Farmasi Universitas Sumatera Utara.
- Nikmah, S, H., Masturi & Supeni, E, S., (2018). Pengembangan Alat Praktikum Kalorimeter Bom pada Pokok Bahasan Kalor. *Unnes Physics Education Journal*. 7(1), 657-687.
- Noviyanti, M., & Hufri,. (2020). Rancang Bangun Set Eksperimen Kalorimeter Digital Dengan Pengindera Sensor Termokopel Dan Sensor Load Cell Berbasis Arduino Uno. *Pillar of Physics*, 13(20), 34-41.

- Padang, Y.A., Mirmanto., Syahrul., Sinerep., dan Pandiatmi. (2020). Pemanfaatan Energi Alternatif dan Terbarukan. *Jurnal Karya Pengabdian*. 2(2), 77-78.
- Parinduri, Luthfi., & Parinduri, Taufik. (2020). Konversi Biomassa Sebagai Sumber Energi Terbarukan. *Journal of Electrical Technolog*. 5(2) ,790-830.
- Pranoto, B., Pandin M., Rahma Fithri, & S. Nasution. (2013). Biomass Potential Map As a Database of National Scale Biomass Energy Development. *Jurnal Ketenagalistrikan Dan Energi Terbarukan*, 12(2), 123–130.
- Pujirahayu, N., Kendari A M., Kabe A., & Alfaruq M. (2022). Pertumbuhan dan Sifat Mekanika Kayu Jati (*Tectona Grandis* Lf) Umur 20 Tahun di Kota Kendari dan Kabupaten Konawe Selatan. *Jurnal Kehutanan Indonesia*. 3(1), 450-480.
- Putri, M, K., Asshaumi, R, U., Rahmadani, N, F., Kurnia S, I., Mayasari, S., Martatino, R., Prastowo, S, H, B., & Dewi, N, M. (2024). Analisis Nilai Kecepatan Terhadap Viskositas Pada Fluida. *Jurnal Pendidikan Fisika*. 8(1), 89-96.
- Ramadani, Faizah, H., Farida, H, H. (2017). Pembuatan Briket Arang daun Kelapa Sawit (*Elais guineensis* Jacq) Dengan Perekat Pati Sagu (*metroxylon sago rotti*). *Jurnal Jom Faperta UR*. 4(1), 379-399.
- Regina, O., Sudrajad, H., Syaflita, D., Fisika, P., & Riau, U. (2018). Meansurement Of Viscosity Uses An Alternative Viscometer Pengukuran Viskositas Menggunakan Viskometer Alternatif. *Jurnal Geliga Sains*. 6(2), 127–132.
- Ridhuan, K., Irawan, D., & Inthifawzi, R. (2019). Proses Pembakaran Pirolisis dengan Jenis Biomassa dan Karakteristik Asap Cair yang Dihasilkan, *Jurnal Program Studi Teknik Mesin UM Metro*, 8(3), 55-54.
- Rizal, W, A., Suryani, R., Wahono, S, K., Anwar, M., Prasetyo, D, J., Amdani, R, Z., Suwanto, A., & Februananta, N. (2020). Pirolisis Limbah Biomassa Serbuk Gergaji Kayu Campuran : Parameter Proses dan Analisis Produk Asap Cair. *Jurnal Riset Teknologi Industri*. 14(2), 354-380.
- Rohman, A. (2014). *Spektroskopi Inframerah dan Kemometrika Untuk Analisis Farmasi*. Pustaka Pelajar.
- Ronsse, F., van Hecke, S., Dickinson, D., & Prins, W. (2013). Production and characterization of slow pyrolysis biochar: Influence of feedstock type and pyrolysis conditions. *GCB Bioenergy*, 5(2), 104–115.
- Rosihan, R. (2018). Peningkatan Produksi Jambu Mete Nasional Melalui Perbaikan Teknologi Budidaya Berbasis Ekologi. *Jurnal Perspektif*, 17(2).

- Rozana, D., & Fikri, H. (2017). Pemanfaatan Limbah Kulit Jengkol (PitheLeIlobina Jiringa) Menjadi Bioarang Dengan Menggunakan Perekat Campuran Getah Sukun Dan Tepung Tapioka. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*. 5(1), 577-590.
- Seftianingsih., (2018). Pengenalan Berbagai Jenis Kayu Solid Dan Konstruksinya Untuk Furniture Kayu. *Jurnal Kemadha*. 7(1). 123-155.
- Setiawan & Bagus. (2016). Analisa Thermogravimetry Pada Pirolisis Limbah Pertanian. *Jurnal Ethos*. 4(1),49-56.
- Setiawati, D., & Radiyono, Y., (2017). Analisis Hubungan Kecepatan Terminal dengan Viskositas Zat Cair Menggunakan Software Tracker. Jurnal Materi dan Pembelajaran Fisika (JMPF). *Jurnal Materi Dan Pembelajaran Fisika (JMPF)*. 7(2), 1–6.
- Sidiq, F., & Drajat, S. (2016). Nilai Koefisien Viskositas Diukur Dengan Metode Bola Jatuh Dalam Fluida Viskositas. *Jurnal Teknik Mesin*. 13(2), 56-78.
- Subamia, I, D, P., Widianingsih, N, N., Wahyuni, I, G, A, N., & Kristiyanti, P L, P. (2023). Optimasi Kinerja Alat Fourier Transform Infrared (FTIR) Melalui Studi Perbandingan Komposisi dan Ketebalan Sampel-KBr. *Jurnal Pengelolaan Laboratorium Pendidikan*. 5(2). 58-69.
- Sulasminingsih, S., Hafiz, F., Sari, K., dan Yuninda, S. (2023). Penggunaan Biomassa sebagai Energi Alternatif Pembangkit Listrik di Wilayah Pedesaan. *Journal of Optimization System and Ergonomy Implementation*. 1(1). 42-51.
- Sulistiyani, M., & Huda, N. (2017). Indonesian Journal of Chemical Science Optimasi Pengukuran Spektrum Vibrasi Sampel Protein Menggunakan Spektrofotometer Fourier Transform Infrared (FTIR). *In J. Chem. Sci*. 6(2), 377-390.
- Sulistyaningsih., Mahmudah., & Sujarwanto. (2021). Penentuan Koefisien Viskositas Air dengan Aliran Kapiler. *Journal In DIFFRACTION*. 1(1), 124-140.
- Suprpto. (2007). Pertumbuhan Bibit Jati (Tectona grandis. Lf) Pada Variasi Konsentrasi dan Selang Waktu Pemberian Pupuk Organik. Fakultas Pertanian. *Jurnal Pertanian*. 8(2), 190-204.
- Suryadi, Indra. (2002). *Analisis Hubungan Kebutuhan Industri Penggergajian Rakyat dengan Sumber Bahan Baku Di Kecamatan Leuwiliang, Kabupaten Bogor*. [Skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.Tidak Diterbitkan.
- Theakstone, A. G., Rinaldi, C., Butler, H. J., Cameron, J. M., Confield, L. R., Rutherford, S. H., Sala, A., Sangamnerkar, S., & Baker, M. J. (2021). Fourier Transform Infrared Spectroscopy of Biofluids: A practical approach. *Translational Biophotonics*, 3(2), 37-50.

- Thran. (2010). Global biomass potentials -Resources, drivers and scenario results, *Journal of Energy for Sustainable Development*, 1(4), 200-205.
- Wahyudi, I. (2011). Peningkatan Mutu Kayu Hutan Rakyat dengan Teknik Pemadatan. *Jurnal Ilmu Kehutanan Tropis*. 8(1), 88-92.
- Wahyudi, I., Priadi, T., & Rahayu, I. S. (2014). Karakteristik dan Sifat Sifat Dasar Kayu Jati Unggul Umur 4 dan 5 Tahun Asal Jawa Barat. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*. 19(1), 50-56.
- Welfe., Gilbert., & Thornle. (2014). Increasing biomass resource availability through supply chain analysis. *Journal of Biomass and Bioenergy*. 7(10), 249-266.
- Yaman. (2004). Pyrolysis of biomass to produce fuels and chemical Feedstocks. *Journal of Energy Conversion and Management*. 4(5), 651–671.
- Yang, H., Yan, R., Chen, H., Lee, D. H., & Zheng, C. (2007). Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. *Journal Energy Fuel*, 86(13), 1781–1788.