

PENGARUH KATALIS Fe_3O_4 TERHADAP BIOMASSA KAYU MAHONI DENGAN VARIASI SUHU PADA PIROLISIS ELEKTROMAGNETIK INDUKSI

Ahmad Abdul Ghofur¹, Ena Marlina², Riswan Sepriyatno³

¹program studi Teknik Mesin, Universitas Islam Malang,

e-mail : ahmadabdulghofur449@gmail.com

²Agro-Renew Center for Energi Water and Environment Technologies, Universitas Islam Malang,

e-mail : enamarlina@unisma.ac.id

³program studi Teknik Mesin, Universitas Islam Malang,

e-mail : riswansepriyatno@unisma.ac.id

Jl.MT.Haryono 193 Malang 65144, Indonesia

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi suhu pemanasan elektromagnetik induksi dan konsentrasi katalis Fe_3O_4 terhadap karakteristik hasil pirolisis serbuk kayu mahoni. Penelitian dilakukan pada suhu 400°C dan 600°C dengan konsentrasi Fe_3O_4 sebesar 0%, 5%, dan 10%. parameter yang diamati meliputi *heating rate*, rendemen *bio-oil*, dan densitas *bio-oil*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan suhu 400°C menjadi 600°C memperpanjang waktu pencapaian suhu target dan cenderung menurunkan rendemen *bio-oil* serta *char*. Penambahan Fe_3O_4 hingga 10% meningkatkan pembentukan *bio-oil*, dengan rendemen tertinggi sebesar 35% pada 400°C dan Fe_3O_4 10%. Densitas *bio-oil* menurun dari 0,848 g/ml pada 400°C tanpa katalis menjadi 0,828 g/ml pada 600°C dengan Fe_3O_4 10%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kombinasi suhu dan katalis memengaruhi karakteristik produk pirolisis

Kata kunci : serbuk kayu mahoni, pirolisis, pemanasan elektromagnetik induksi.

ABSTRACT

This study aims to analyze the effects of electromagnetic induction heating temperature and Fe_3O_4 catalyst concentration on the characteristics of pyrolysis products from mahogany sawdust. The experiments were conducted at temperatures of 400°C and 600°C with Fe_3O_4 concentrations of 0%, 5%, and 10%. The investigated parameters included heating rate, bio-oil yield, char yield, and bio-oil density. The results showed that increasing the temperature from 400°C to 600°C prolonged the time required to reach the target temperature and tended to decrease both bio-oil and char yields. Increasing the Fe_3O_4 concentration up to 10% enhanced bio-oil production, with the highest yield of 35% obtained at 400°C with 10% Fe_3O_4 . Bio-oil density decreased from 0.848 g/mL at 400°C without catalyst to 0.828 g/mL at 600°C with 10% Fe_3O_4 . These results indicate that temperature and catalyst concentration influence the characteristics of mahogany sawdust pyrolysis products.

Keywords: mahogany sawdust, pyrolysis, electromagnetic induction heating.

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi yang terus meningkat mendorong perkembangan sumber energi alternatif yang terbarukan dan dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan. Biomassa merupakan salah satu sumber energi yang potensial karena tersedia dari berbagai limbah pertanian dan kehutanan serta dapat dikonversi menjadi produk energi melalui proses termokimia. Pemanfaatan biomassa dapat mengurangi jumlah limbah sekaligus menghasilkan produk yang memiliki nilai tambah. Proses konversi biomassa secara termokimiameliputi pembakaran, gasifikasi, dan

pirolisis yang dapat menghasilkan produk dalam bentuk padat, cair, maupun gas [1]-[2]-[3].

Limbah serbuk kayu merupakan salah satu jenis biomassa yang berpotensi dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif. rizal (2020) menunjukkan bahwa limbah serbuk kayu dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku proses pirolisis untuk menghasilkan produk cair [2]. Serbuk kayu memiliki kandungan lignoselulosa yang terdiri atas selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Ketiga komponen tersebut memiliki karakteristik dekomposisi termal yang berbeda sehingga dapat memengaruhi pembentukan

produk selama proses pirolisis. Serbuk kayu mahoni memiliki potensi sebagai bahan baku karena kandungan selulosanya mencapai 47% kandungan selulosa tersebut dapat menghasilkan senyawa volatil dan residu karbon. Ketika biomassa mengalami proses pemanasan. Karakteristik biomassa menjadi faktor yang menentukan hasil akhir proses pirolisis [4].

Pirolisis merupakan proses dekomposisi termal bahan organik pada kondisi tanpa oksigen atau dengan jumlah oksigen yang sangat terbatas. Proses pirolisis menghasilkan tiga produk utama, yaitu bio-oil, char, dan gas [5]. Distribusi produk pirolisis dipengaruhi oleh berbagai parameter seperti jenis biomassa, temperatur, laju pemanasan, waktu tinggal, ukuran partikel, dan kondisi reactor [6]-[7]-[8]. Pengaturan kondisi operasi menjadi faktor penting untuk memperoleh distribusi produk yang sesuai dengan tujuan proses.

Temperatur merupakan salah satu parameter utama dalam pirolisis karena berpengaruh terhadap proses dekomposisi lignoselulosa dan pembentukan senyawa volatil. Peningkatan temperatur dapat meningkatkan proses devolatilisasi sehingga sebagian komponen biomassa berubah menjadi uap yang selanjutnya dapat dikondensasikan menjadi bio-oil. Namun, pada temperatur yang terlalu tinggi dapat terjadi reaksi sekunder dan cracking yang menyebabkan sebagian senyawa volatil berubah menjadi gas. Penelitian mengenai hubungan temperatur dengan produk pirolisis menunjukkan bahwa perubahan temperatur dapat mempengaruhi hasil bio-oil dan biochar [9]-[10].

Laju pemanasan (*heating rate*) juga berperan dalam menentukan karakteristik pirolisis. Laju pemanasan menunjukkan kecepatan peningkatan temperatur terhadap waktu dan berhubungan dengan kecepatan biomassa menerima energi panas, laju pemanasan yang berbeda dapat menghasilkan perbedaan pada proses devolatilisasi dan distribusi produk. Novita (2021) menunjukkan bahwa kondisi operasi termasuk laju pemanasan dan temperatur, berpengaruh terhadap karakteristik produk pirolisis [11]. pengamatan *heating rate* diperlukan untuk mengetahui karakteristik pemanasan yang terjadi selama proses pirolisis.

Perkembangan teknologi pirolisis mendorong penggunaan metode pemanasan yang lebih cepat dan efisien, salah satunya adalah pemanasan elektromagnetik induksi. Pemanasan induksi memanfaatkan medan magnet elektromagnetik untuk menghasilkan panas pada material yang memiliki sifat magnetik atau konduktif. Metode ini memiliki potensial menghasilkan pemanasan yang lebih cepat dan terarah di bandingkan pemanasan konvensional. [12] metode pemanasan elektromagnetik induksi memiliki karakteristik perpindahan energi yang berbeda di bandingkan

pemanasan resistansi listrik. Pengembangan pemanasan elektromagnetik dalam proses termokimia biomassa juga terus dilakukan. Phuch (2023) membahas penggunaan pemanasan elektromagnetik dan material magnetik dalam proses pemanasan [13], sedangkan chen (2025) membandingkan karakteristik pengantaran energi pada proses pirolisis menggunakan beberapa metode pemanasan, termasuk pemanasan induksi [14]. Metode pemanasan merupakan salah satu aspek penting yang dapat memengaruhi efektifitas transfer energi selama proses pirolisis.

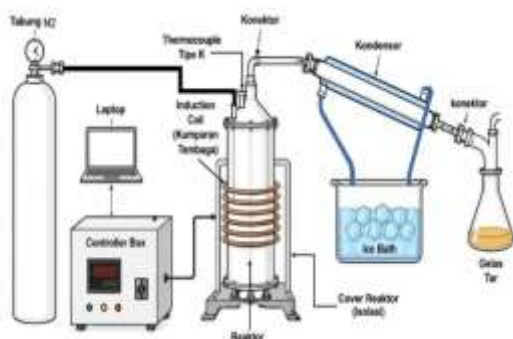
Penggunaan katalis dapat mempercepat reaksi melalui penyediaan jalur reaksi dengan energi aktivasi yang lebih rendah dan memengaruhi jalur pembentukan produk sehingga distribusi produk yang dihasilkan dapat berubah [15]-[16].

Material berbasis besi menjadi salah satu kelompok material yang berpotensi digunakan dalam proses pirolisis dengan pemanasan elektromagnetik. Fe_3O_4 atau magnetit memiliki sifat magnetik dan dapat berinteraksi dengan medan elektromagnetik. [17] karakteristik Fe_3O_4 yang berkaitan dengan sifat magnetik dan elektromagnetiknya. [18] Fe_3O_4 memiliki karakteristik magnetik yang mendukung pemanfaatannya dalam berbagai aplikasi. Sifat magnetik Fe_3O_4 menjadikan material tersebut menarik untuk digunakan dalam sistem pirolisis dengan pemanasan elektromagnetik induksi.

Penggunaan material berbasis Fe juga berpotensi memengaruhi reaksi katalitik selama proses pirolisis. [19] katalis berbasis Fe dapat berperan dalam proses deoksigenasi biomassa dan memengaruhi pembentukan senyawa hasil pirolisis. Material Fe dapat memengaruhi reaksi senyawa volatil sehingga berpotensi mengubah karakteristik bio-oil. Penelitian mengenai bio-oil dan char menunjukkan bahwa jumlah kedua produk tersebut dipengaruhi oleh temperatur, jenis biomassa, laju pemanasan, dan penggunaan katalis [10]-[20]. [21] pemanasan elektromagnetik induksi dapat diterapkan pada proses konversi biomassa melalui proses *co-pyrolysis*. Kombinasi serbuk kayu mahoni, Fe_3O_4 dan pemanasan elektromagnetik induksi menjadi pendekatan yang menarik untuk dikaji karena penelitian dengan kombinasi tersebut masih terbatas. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh temperatur 400°C dan 600°C serta konsentrasi katalis Fe_3O_4 sebesar 0%, 5%, dan 10% terhadap proses pirolisis serbuk kayu mahoni. Parameter penelitian meliputi rendemen bio-oil, rendemen char, dan *heating rate*. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi mengenai pengaruh temperatur dan penambahan Fe_3O_4 terhadap distribusi produk serta karakteristik pemanasan pada proses pirolisis elektromagnetik induksi.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimental (*experimental research*). Penelitian ini menggunakan biomassa serbuk kayu mahoni sebelum digunakan biomassa dijemur guna mengurangi kadar air kemudian di ayak dengan saringan berukuran 50 mesh agar ukuran partikel seragam dan di timbang sebanyak 150gr dan ditambahkan katalis Fe_3O_4 dengan variasi 0%, 5%, dan 10% campuran dimasukkan dalam reactor pirolisis yang dilengkapi dengan pemanas eletromagnetik induksi, thermokopel tipe-k, dan kondensor tipe tube pirolisis dilakukan pada suhu 400°C dan 600°C selama 15 menit dengan interval 3 menit, uap hasil pirolisis dialirkan menuju kondensor yang akan terjadi kondensasi yang menghasilkan *bio-oil*, sedangkan residu padat tertinggal dalam reactor dikumpulkan sebagai *char*.



Gambar 1. Skema instalasi penelitian

ANALISIS DATA

Data hasil penelitian dianalisis secara deskriptif dengan membandingkan pengaruh variasi suhu dan variasi katalis Fe_3O_4 terhadap rendemen *bio-oil*, rendemen *char*, densitas *bio-oil* dan *heating rate* dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Bio-oil} = \frac{m_{\text{bio-oil}}}{m_{\text{bahan baku}}} \times 100\% \quad [10]$$

$$\text{Char} = \frac{m_{\text{char}}}{m_{\text{bahan baku}}} \times 100\% \quad [22]$$

$$\text{Gas (\%)} = \frac{m_{\text{gas}}}{m_{\text{bahan baku}}} \times 100\% \quad [23]$$

Densitas *bio-oil* dihitung menggunakan persamaan:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad [24]$$

Keterangan:

ρ : masa jenis benda (gr/ml)

m : masa benda (gr)

V : Volime benda (ml)

Nilai *heating rate* diperoleh dari perubahan temperature terhadap waktu selama pemanasan menggunakan persamaan:

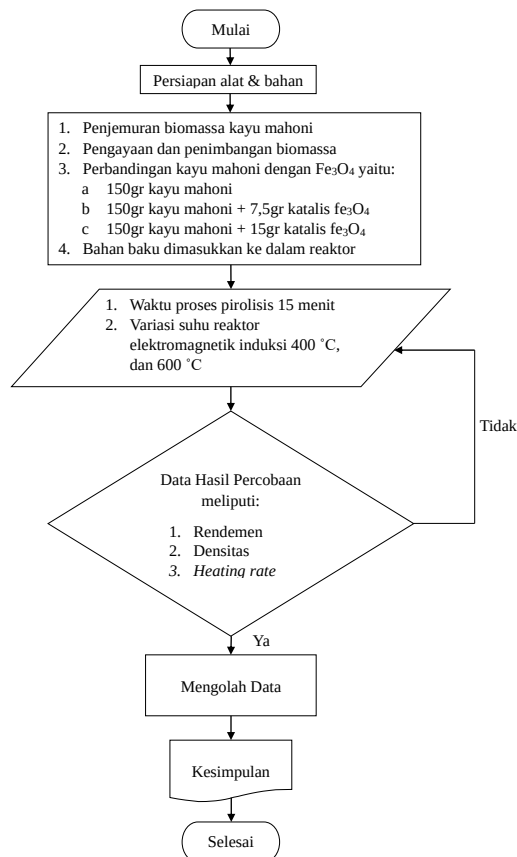
$$\text{Heating rate} = \frac{dT}{dt} \quad [25]$$

Keterangan:

dT : perubahab suhu ($^\circ\text{C}$)

dt : waktu yang dibutuhkan (menit)

DIAGRAM ALIR PENELITIAN



HASIL DAN PEMBAHASAN

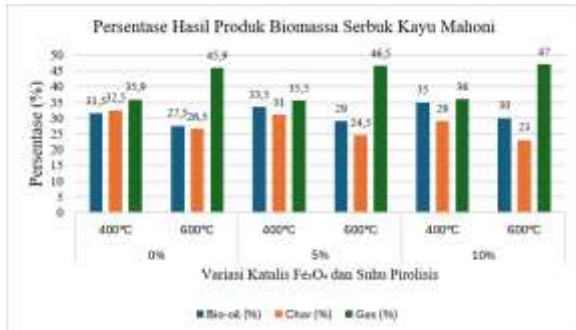
Data hasil penelitian pirolisis eletromagnetik induksi didapatkan data sebagai berikut:

1. Data hasil penelitian pirolisis

Data yang ditampilkan meliputi massa *bio-oil*, rendemen *bio-oil*, massa *char*, dan rendemen *bio-oil* untuk setiap kondisi suhu yang diuji, dan untuk mendapatkan hasil persentase produk hasil pirolisis.

Tabel 1. Data hasil pirolisis

Suhu (°C)	Fe ₃ O ₄ (%)	Biomassa (gr)	Katalis (gr)	Bio-oil (gr)	Bio-oil (%)	char (gr)	char (%)	gas (gr)	gas (%)
400	0	150	0	47,3	31,5	48,8	32,5	53,9	35,9
	5	150	7,5	50,3	33,5	46,5	31,0	53,2	35,5
	10	150	15	52,5	35,0	43,5	29,0	54,0	36,0
600	0	150	0	41,3	27,5	39,8	26,5	68,9	45,9
	5	150	7,5	43,5	29,0	36,8	24,5	69,7	46,5
	10	150	15	45	30,0	34,5	23,0	70,5	47,0

**Gambar 2.** Persentase hasil produk biomassa serbuk kayu mahoni

Tabel 1 dan Gambar 2 menunjukkan pengaruh variasi suhu dan penambahan katalis Fe₃O₄ terhadap rendemen bio-oil dan char serbuk kayu mahoni. Perlakuan tanpa katalis pada suhu 400°C menghasilkan rendemen bio-oil sebesar 31,5% dan char sebesar 32,5%. Penambahan katalis Fe₃O₄ 5% pada suhu 400°C meningkatkan rendemen bio-oil menjadi 33,5% dan menurunkan rendemen char menjadi 31%, sedangkan penambahan katalis Fe₃O₄ 10% menghasilkan rendemen bio-oil tertinggi sebesar 35% dan char sebesar 29%. Perlakuan tanpa katalis pada suhu 600°C menghasilkan rendemen bio-oil sebesar 27,5% dan char sebesar 26,5%. Penambahan katalis Fe₃O₄ 5% pada suhu 600°C menghasilkan rendemen bio-oil sebesar 29% dan char sebesar 24,5% sedangkan penambahan katalis Fe₃O₄ 10% menghasilkan rendemen bio-oil sebesar 30% dan char terendah sebesar 23%. Penambahan katalis Fe₃O₄ cenderung meningkatkan rendemen bio-oil dan menurunkan rendemen char. Peningkatan suhu dari 400°C menjadi 600°C menyebabkan penurunan rendemen bio-oil akibat terjadinya reaksi sekunder atau secondary cracking yang mengubah sebagian senyawa volatil menjadi produk gas. Peningkatan temperatur mendorong dekomposisi lignoselulosa dan konversi fraksi padat menjadi senyawa volatil sehingga menurunkan rendemen char. Fraksi gas tidak dianalisis secara langsung dalam penelitian ini, tetapi fraksi gas dihitung berdasarkan selisih massa produk. Sebagai indikasi jumlah uap pirolisis yang tidak terkondensasi. Kondisi optimum penelitian diperoleh

pada suhu 400°C dengan katalis Fe₃O₄ 10% yang menghasilkan rendemen bio-oil tertinggi sebesar 35%, sedangkan rendemen char terendah sebesar 23% diperoleh pada suhu 600°C dengan katalis Fe₃O₄ 10%.

2. Pengaruh suhu terhadap bio-oil

Tabel 2. Tabel hasil massa bio-oil dan rendemen bio-oil

Tabel hasil Massa Jenis Bio-oil dan Rendemen Bio-oil			
campuran	Suhu (°C)	Masa jenis Bio-oil (gr)	Rendemen Bio-oil (%)
0%	400	47,3	31,5
	600	41,3	27,5
5%	400	50,3	33,5
	600	43,5	29
10%	400	52,5	35
	600	45	30

Tabel 2 menunjukkan peningkatan suhu dari 400°C menjadi 600°C meningkatkan massa dan rendemen bio-oil pada temperatur suhu 400°C, massa bio-oil tanpa katalis sebesar 47,3 gr dengan rendemen 31,5%. Penambahan katalis Fe₃O₄ 5% meningkatkan massa bio-oil menjadi 50,3 gr dengan rendemen 33,5% sementara itu, penggunaan katalis Fe₃O₄ 10% menghasilkan massa bio-oil sebesar 52,5 gr dengan rendemen tertinggi sebesar 35%. Temperatur suhu 600°C, massa bio-oil tanpa katalis sebesar 41,3 gr dengan rendemen 27,5%. Penambahan Fe₃O₄ 5% menghasilkan 43,5 gr dengan rendemen 29%, sedangkan Fe₃O₄ 10% menghasilkan 45 gr dengan rendemen 30% data tersebut menunjukkan bahwa penambahan katalis Fe₃O₄ meningkatkan pembentukan produk cair pada kedua temperature yang digunakan.

Peningkatan temperature dari 400°C menjadi 600°C justru menyebabkan rendemen bio-oil menurun pada kondisi tersebut, Sebagian senyawa volatile yang terbentuk dapat mengalami pemecahan lebih lanjut sehingga berubah menjadi gas yang tidak terkondensasikan. Kondisi tersebut menyebabkan jumlah produk yang berhasil dikumpulkan sebagai bio-oil menjadi lebih rendah, dengan demikian temperature yang lebih tinggi tidak selalu menghasilkan bio-oil yang lebih banyak pada penelitian ini temperature 400°C memberikan hasil bio-oil lebih tinggi dibandingkan 600°C. Kondisi terbaik diperoleh pada temperature suhu 400°C dengan penambahan katalis Fe₃O₄ 10%, yaitu rendemen sebesar 35%

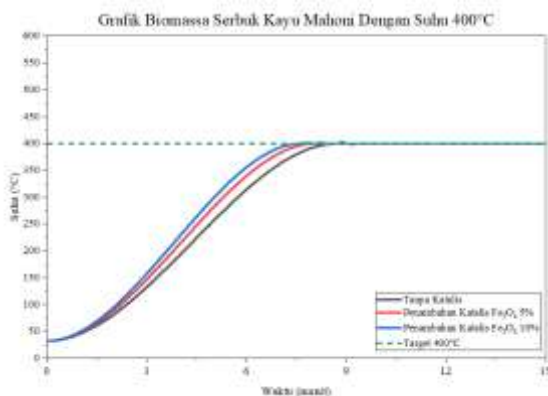
3. Pengaruh suhu terhadap *char*

Tabel 3. Tabel hasil masa jeneis *char* dan rendemen *char*

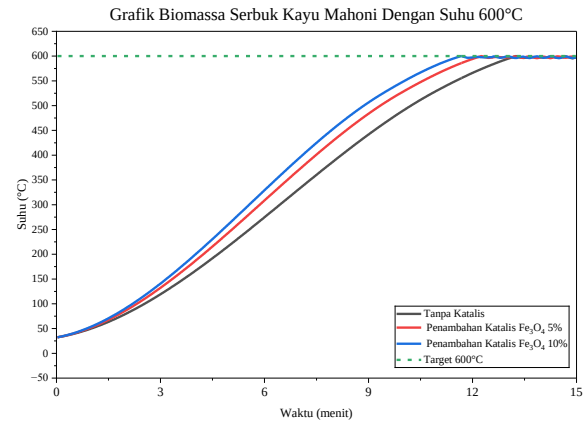
campuran	Suhu (°C)	Masa jenis Char (gr)	Rendemen Char(%)
0%	400	48,8	32,5
	600	39,8	26,5
5%	400	46,5	31
	600	36,8	24,5
10%	400	43,5	29
	600	34,5	23

Tabel 3 menunjukkan kecenderungan menurun dengan meningkatnya temperature suhu dan penambahan katalis Fe_3O_4 , temperature 400°C , massa *char* tanpa katalis sebesar 48,8 g dengan rendemen 32,5%, keudian menurun menjadi 46,5 g dengan rendemen 31% penambahan katalis Fe_3O_4 5% dan 43,5 g dengan rendemen 29% pada penambahan katalis Fe_3O_4 10%, pada temperatur 600°C , massa *char* tanpa katalis sebesar 39,8 g dengan rendemen 26,5%, sedangkan pada penambahan katalis Fe_3O_4 5% massa *char* sebesar 36,8g dengan rendemen 24,5% dan pada penambahan katalis Fe_3O_4 10% sebesar 34g dengan rendemen 23%. Penurunan massa dan rendemen *char* menunjukkan bahwa peningkatan temperatur dari 400°C menjadi 600°C menyebabkan proses dekomposisi biomassa yang berlangsung lebih intensif semakin tinggi temperatur semakin banyak komponen biomassa terurai dan berubah menjadi senyawa volatil, sehingga residu padat yang tertinggal sebagai *char* semakin sedikit. Penambahan katalis Fe_3O_4 juga menyebabkan penurunan massa *char* karena katalis membantu mempercepat proses dekomposisi biomassa.

4. Heating rate

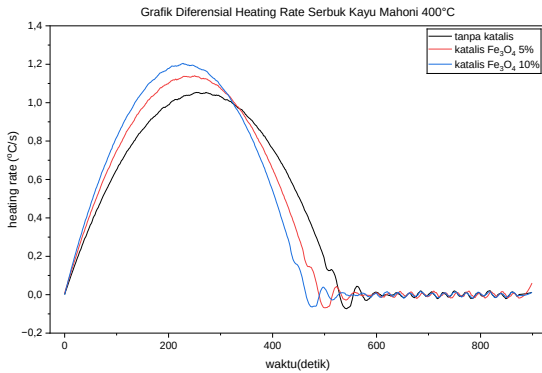


Gambar 3. Grafik laju pemanasan pada suhu 400°C

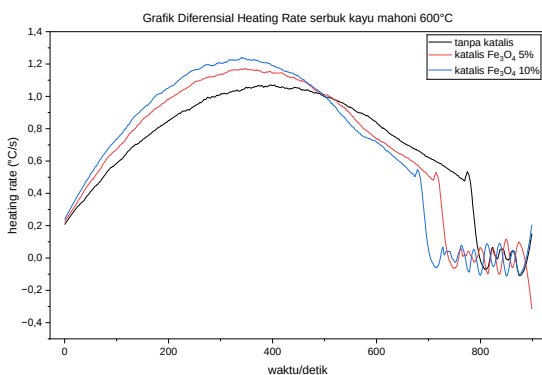


Gambar 4. Grafik laju pemanasan pada suhu 600°C

Gambar 3 dan Gambar 4 menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu target pirolisis, semakin lama waktu yang diperlukan untuk mencapai kondisi operasi karena kebutuhan energi panas dan kehilangan panas pada sistem semakin besar. Terlihat perbedaan karakteristik pemanasan antara suhu 400°C dan 600°C , pada suhu 400°C , seluruh perlakuan menunjukkan kenaikan suhu yang relatif lebih cepat suhu target sekitar menit ke 8 sampai ke 9, sedangkan pada suhu 600°C proses pemanasan berlangsung lebih lama dan suhu target baru tercapai sekitar menit ke 13 sampai ke 15. Perbedaan tersebut disebabkan oleh kebutuhan energi yang lebih besar untuk meningkatkan suhu dari konduksi awal sekitar 32°C hingga 600°C dibandingkan hingga 400°C , serta meningkatnya kehilangan panas (*heat loss*) ketika temperatur semakin tinggi. Penambahan katalis Fe_3O_4 5% dan 10% juga menghasilkan perbedaan kemiringan kurva dibandingkan tanpa katalis, meskipun pengaruhnya terhadap laju pemanasan tidak menunjukkan kecenderungan yang sepenuhnya konsisten. Waktu pencapaian suhu target lebih dominan dipengaruhi oleh besarnya temperatur operasi dan karakteristik perpindahan panas pada sistem. Peningkatan suhu target dari 400 menjadi 600 menyebabkan waktu pemanasan menjadi lebih lama karena energi yang dibutuhkan lebih besar dan kehilangan panas semakin meningkat pada temperatur tinggi.



Gambar 5. Grafik diferensial heating rate serbuk kayu mahoni 400°C



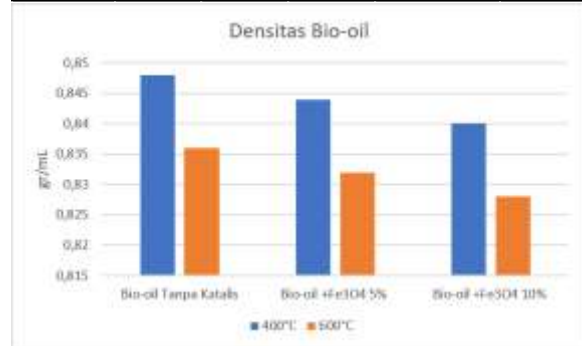
Gambar 6. Grafik diferensial heating rate serbuk kayu mahoni 600°C

Gambar 5 dan Gambar 6 menunjukkan pengaruh suhu dan konsentrasi Fe_3O_4 terhadap laju pemanasan diferensial serbuk kayu mahoni selama pirolisis. Laju pemanasan pada suhu 400°C mencapai maksimum sebesar 1,05°C/s tanpa katalis, 1,15°C/s dengan Fe_3O_4 5%, dan 1,20°C/s dengan Fe_3O_4 10%, sedangkan pada suhu 600°C masing-masing mencapai 1,05°C/s tanpa katalis, 1,15°C/s dengan Fe_3O_4 5%, dan 1,22°C/s dengan Fe_3O_4 10%. Penambahan Fe_3O_4 meningkatkan laju pemanasan karena katalis membantu penerimaan dan distribusi energi panas pada biomassa. Peningkatan suhu dan konsentrasi katalis juga mempercepat perpindahan panas serta dekomposisi komponen biomassa, dengan Fe_3O_4 10% menghasilkan laju pemanasan tertinggi pada kedua suhu. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi Fe_3O_4 dapat meningkatkan efektivitas proses pemanasan dan mengetahui pembentukan produk pirolisis, terutama bio-oil dan char.

5. Densitas *bio-oil*

Tabel 4. Densitas *bio-oil*

Campuran	Biomassa (g)	Suhu (°C)	Massa (g)	Volume (mL)	Densitas (g/mL)
0%	150	400	47,3	55,78	0,848
	150	600	41,3	49,40	0,836
5%	150	400	50,3	59,60	0,844
	150	600	43,5	52,28	0,832
10%	150	400	52,5	62,50	0,840
	150	600	45	54,35	0,828



Gambar 7. Persentase densitas *bio-oil*

Tabel 4 dan Gambar 7 menunjukkan bahwa densitas *bio-oil* cenderung menurun seiring peningkatan suhu pirolisis dan konsentrasi katalis Fe_3O_4 , pada suhu 400°C densitas *bio-oil* menurun dari 0,848 pada Fe_3O_4 5% dan 0,840 g/ml pada Fe_3O_4 10%. Sementara itu suhu 600°C densitas menurun dari 0,836 g/ml menjadi 0,832 g/ml dan 0,828 g/ml pada konsentrasi katalis 0%, 5%, dan 10%. penurunan densitas menunjukkan bahwa peningkatan suhu dan penambahan katalis Fe_3O_4 menghasilkan fraksi *bio-oil* yang relatif lebih ringan. Kondisi tersebut berkaitan dengan proses dekomposisi dan pemecahan senyawa selama pirolisis, sehingga Sebagian senyawa dengan massa molekul lebih tinggi berubah menjadi senyawa yang lebih ringan, dengan demikian kombinasi suhu 600°C dan Fe_3O_4 menghasilkan densitas rendah sedangkan densitas tinggi diperoleh pada suhu 400°C tanpa katalis.

6. Visualisai *bio-oil*

Tabel 5 visualisasi *bio-oil*

Campuran	Suhu 400°C	keterangan	Suhu 600°C	Keterangan
Tampa katalis		<i>Bio-oil</i> hasil pirolisis terlihat berupa cairan berwarna cokelat kehitaman		<i>Bio-oil</i> hasil pirolisis terlihat berupa cairan berwarna cokelat kehitaman, relatif homogen secara visual
Katalis 5%		<i>Bio-oil</i> berwarna merah kecokelatan dan terlihat cukup pekat		<i>Bio-oil</i> berwarna coklat kemerahan dengan tampilan lebih gelap
Katalis 10%		<i>Bio-oil</i> berwarna merah kecokelatan hingga merah terang		<i>Bio-oil</i> berwarna coklat kemerahan dengan tampilan lebih terang

Tabel 5. Visualisasi *bio-oil* menunjukkan bahwa suhu pirolisis dari 400°C menjadi 600°C cenderung menurunkan massa *bio-oil*, sedangkan peningkatan konsentrasi katalis Fe_3O_4 hingga 10% meningkatkan massa *bio-oil*, pada suhu 400°C, massa *bio-oil* yang diperoleh sebesar 47,3 gr tanpa katalis, 50,3 gr, dengan katalis 5%, dan 52,5 gr dengan katalis 10%. sementara itu, pada suhu 600°C diperoleh massa *bio-oil* masing masing sebesar 41,3 gr tanpa katalis, 43,5 gram dengan katalis 5%, dan 45gr dengan katalis 10% hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan katalis Fe_3O_4 memberikan kecenderungan peningkatan pembentukan fraksi cair pada kedua kondisi temperatur. Perbedaan hasil *bio-oil* terlihat secara visual. *Bio-oil* yang dihasilkan pada suhu 400°C cenderung berwarna lebih gelap, sedangkan pada suhu 600°C memiliki warna yang lebih terang kemerahan. Penurunan massa *bio-oil* pada suhu 600°C dapat disebabkan oleh meningkatnya dekomposisi dan reaksi sekunder (*secondary cracking*). Temperature

yang lebih tinggi, senyawa volatil hasil dekomposisi biomassa dapat mengalami pemecahan menjadi molekul yang lebih ringan sehingga Sebagian berubah menjadi gas dan tidak terkondensasi menjadi produk cair. Sebaliknya suhu 400°C, kondisi pirolisis lebih mendukung pembentukan dan kondensasi senyawa volatil menjadi *bio-oil*.

Peningkatan massa *bio-oil* seiring dengan penambahan katalis Fe_3O_4 menunjukkan bahwa katalis berperan dalam mempercepat proses dekomposisi biomassa dan membantu bentuknya senyawa volatil yang dapat terkondensasi menjadi produk cair. Berdasarkan hasil tersebut, kondisi terbaik dalam penelitian ini diperoleh pada suhu 400°C dengan penambahan katalis Fe_3O_4 sebesar 10% yang menghasilkan massa *bio-oil* tertinggi sebesar 52,5 gr.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian pengaruh variasi suhu dan konsentrasi katalis Fe_3O_4 terhadap hasil pirolisis serbuk kayu mahoni menggunakan metode pemanasan eletromagnetik induksi dapat di simpulkan bahwa:

1. Variasi suhu dan konsentraasi katalis Fe_3O_4 berpengaruh terhadap rendemen *bio-oil* dan *biochar* yang dihasilkan. Penambahan katalis Fe_3O_4 mampu meningkatkan rendemen *bio-oil* pada kedua suhu pengujian, sedangkan peningkatan suhu dari 400°C menjadi 600°C menyebabkan rendemen *bio-oil* menurun akibat terjadinya *secondary cracking* yang mengubah senyawa volatil menjadi gas non-kondensabel.
2. Densitas *bio-oil* menunjukkan kecenderungan menurun seiring meningkatnya suhu dan penambahan katalis. Densitas tertinggi diperoleh pada suhu 400°C tanpa katalis, yaitu 0,848 g/ml, sedangkan densitas terendah diperoleh pada suhu 600°C dengan katalis Fe_3O_4 10% yaitu 0,828 g/ml.hal ini menunjukkan terbentuknya fraksi *bio-oil* yang lebih ringan akibat proses dekomposisi dan deoksigenasi yang lebih intensif.
3. Penggunaan katalis Fe_3O_4 pada sistem pirolisis eletromagnetik induksi efektif meningkatkan konversi biomassa menjadi *bio-oil*, sehingga berpotensi dikembangkan sebagai metode produksi bahan bakar cair terbarukan dari limbah serbuk kayu mahoni.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. Parinduri and T. Parinduri, "Konversi Biomassa Sebagai Sumber Energi Terbarukan," *J. Electr. Technol.*, vol. 5, no. 2, pp. 88–92, 2020.

- [2] W. A. Rizal *et al.*, “Pirolisis Limbah Biomassa Serbuk Gergaji Kayu Campuran : Parameter Proses dan Analisis Produk Asap Cair,” *J. Ris. Teknol. Ind.*, vol. 14, no. 2, p. 353, 2020, doi: 10.26578/jrti.v14i2.6606.
- [3] L. G. Fraga, S. Teixeira, and D. Soares, “Behavior and Kinetics of Pine Wood Particles Using,” pp. 1–22, 2020.
- [4] Ahmad Shobib, “KARAKTERISTIK BIOCHAR BERDASARKAN JENIS BIOMASSA DAN PARAMETER PROSES PYROLISIS,” pp. 318–323, 2023.
- [5] E. Marlina, A. Faruq, M. Siyamuddin, and R. Aniza, “Enhancing the combustion characteristics of plastic pyrolytic oils by doping nanocarbon additives for alternative energy,” *Energy*, vol. 322, no. February, p. 135355, 2025, doi: 10.1016/j.energy.2025.135355.
- [6] F. Kasim, A. N. Fitrah, and E. Hambali, “Aplikasi Asap Cair Pada Lateks,” *J. PASTI*, vol. IX, no. 1, pp. 28–34, 2020.
- [7] Y. Nofendri and A. Haryanto, “Perancangan Alat Pirolisis Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar,” *J. Kaji. Tek. Mesin*, vol. 6, no. 1, pp. 1–11, 2021, doi: 10.52447/jktm.v6i1.4454.
- [8] S. A. Novita *et al.*, “Parameter Operasional Pirolisis Biomassa,” vol. 4, no. 1, pp. 53–67, 2021.
- [9] R. T. Aziz, S. Slamet, and R. Wibowo, “Karakterisasi Biomassa Ampas Tebu (Bagasse) Sebagai Bahan Produksi Gas Asap Cair Melalui Metode Pirolisis,” *J. Crankshaft*, vol. 5, no. 1, pp. 73–82, 2022, doi: 10.24176/crankshaft.v5i1.7639.
- [10] M. I. Awad, Y. Makkawi, and N. M. Hassan, “Yield and Energy Modeling for Biochar and Bio-Oil Using Pyrolysis Temperature and Biomass Constituents,” 2024, doi: 10.1021/acsomega.4c01646.
- [11] S. A. Novita *et al.*, “www.agroteknika.id,” vol. 4, no. 1, pp. 53–67, 2021.
- [12] Y. Xue, Y. Zhou, J. Liu, Y. Xiao, and T. Wang, “Comparative analysis for pyrolysis of sewage sludge in tube reactor heated by electromagnetic induction and electrical resistance furnace,” *Waste Manag.*, vol. 120, pp. 513–521, 2021, doi: 10.1016/j.wasman.2020.10.015.
- [13] N. X. Phuc, D. H. Manh, and P. H. Nam, “Electromagnetic heating using nanomaterials and various potential applications,” *Vietnam J. Sci. Technol.*, vol. 61, no. 2, pp. 193–220, 2023, doi: 10.15625/2525-2518/18032.
- [14] R. Chen, W. Guan, Z. Luo, Y. Cao, M. Sun, and X. Zhu, “Rethinking energy delivery in biomass pyrolysis: Comparative insights into conventional, microwave, and induction heating,” *Biomass and Bioenergy*, vol. 203, no. August, p. 108352, 2025, doi: 10.1016/j.biombioe.2025.108352.
- [15] D. M. Kamal, “Penambahan Katalis Karbon Aktif dan Tanah Liat Bentonit Pada Pirolisis Sampah Plastik Polyethylene Terephthalate (PETE),” *J. Energi dan Teknol. Manufaktur*, vol. 05, no. 01, pp. 23–28, 2022.
- [16] Y. Ramadhanti, “Peran Katalis Dalam Reaksi Kimia: Mekanisme Dan Aplikasi,” *Hexatech J. Ilm. Tek.*, vol. 2, no. 2, pp. 74–78, 2023, doi: 10.55904/hexatech.v2i2.915.
- [17] I. P. T. Indrayana, “REVIEW Fe₃O₄ DARI PASIR BESI : SINTESIS, KARAKTERISASI, DAN FUNGSIONALISASI HINGGA APLIKASINYA DALAM BIDANG NANOTEKNOLOGI MAJU,” *Pengaruh Kompetensi, Etika Dan Integritas Audit. Terhadap Kualitas Audit*, vol. 04, no. 2, pp. 305–322, 2020.
- [18] E. Hendrian and M. MUNASIR, “Green synthesis of magnetic Fe₃O₄ nanoparticles (MNP) using plant extract and Biomedicine Applications: Targeted Anticancer Drug Delivery System,” *Inov. Fis. Indones.*, vol. 12, no. 2, pp. 30–46, 2023, doi: 10.26740/ifi.v12n2.p30-46.
- [19] Y. Chen *et al.*, “Efficient and stable Fe-Ce-Al catalyst for catalytic deoxygenation of lignin for phenol and hydrocarbon-rich fuel : Effect of the synthesis method,” vol. 254, no. January, 2024, doi: 10.1016/j.fuproc.2024.108034.
- [20] R. Masrida and W. Kartika, “Potensi Konversi Limbah Organik dengan Metode Pirolisis Menjadi Biochar , Syngas dan Bio-Oil : Tinjauan Literatur Sistematis,” vol. 4, no. 2, pp. 79–88, 2025.
- [21] J. Ferdous *et al.*, “A comparative investigation of biomass co-pyrolysis with polymeric wastes using electromagnetic induction heating,” *J. Energy Inst.*, vol. 120, no. September 2024, p. 102023, 2025, doi: 10.1016/j.joei.2025.102023.
- [22] M. F. Aswad *et al.*, “PIROLISIS BIOMASSA BUAH PINUS DENGAN KATALIS ZEOLIT PENDAHULUAN Kebutuhan dan konsumsi energi semakin meningkat sejalan dengan bertambahnya populasi manusia dan meningkatnya perekonomian masyarakat . Di Indonesia kebutuhan dan konsumsi energi terfokus kep,” 2024.
- [23] L. A. C. Tarelho, H. S. M. Oliveira, F. G. C.

- S. Silva, D. T. Pio, and M. A. A. Matos, "Sustainable Energy & Fuels Valorisation of residual biomass by pyrolysis : influence of process conditions on products," *Sustain. Energy Fuels*, vol. 8, no. December 2023, pp. 379–396, 2024, doi: 10.1039/D3SE01216F.
- [24] J. L. Chukwuneke, H. O. Orugba, H. C. Ollisakwe, and P. O. Chikelu, "South African Journal of Chemical Engineering Pyrolysis of pig-hair in a fixed bed reactor : Physico-chemical parameters of," *South African J. Chem. Eng.*, vol. 38, no. October, pp. 115–120, 2021, doi: 10.1016/j.sajce.2021.09.003.
- [25] D. Bisen, A. Pratap, S. Chouhan, A. K. Sarma, and S. Rajamohan, "Thermogravimetric analysis of rice husk and low-density polyethylene co-pyrolysis : kinetic and thermodynamic parameters," pp. 1–17, 2024.