

PENGARUH PENAMBAHAN TANAH MERAH PADA BIOMASSA KOPI ROBUSTA TERHADAP HASIL PRODUKSI *MICROWAVE ASSISTED PYROLYSIS*

Eka Ahmad Nabil¹, Ena Marlina², Nur Robbi³.

¹ Teknik Mesin, Universitas Islam Malang, ekaahmad.nabil12@gmail.com

² Teknik Mesin; Agro-Renew Centre for Energy Water, and Environment Technologies; Universitas Islam Malang, enamarlina@unisma.ac.id

³ Teknik Mesin, Universitas Islam Malang, nurrobby@unisma.ac.id

ABSTRAK

Kelangkaan energi global akibat meningkatnya permintaan dan dampak negatif pembakaran fosil mendorong pemanfaatan biomassa sebagai energi terbarukan. Salah satunya adalah ampas kopi yang dapat dikonversi melalui pirolisis berbantuan gelombang mikro, yaitu proses dekomposisi termal tanpa O₂ yang menghasilkan minyak, arang, dan gas. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi katalis tanah merah terhadap hasil pirolisis. Eksperimen dilakukan menggunakan campuran ampas kopi dan tanah merah dengan perbandingan 100:0, 95:5, dan 90:10 dari 50 g bahan berukuran 18 mesh, dipanaskan dengan microwave 600 W selama 30 menit, serta pompa vakum untuk menghilangkan O₂. Hasil menunjukkan bahwa penambahan tanah merah 5% dan 10% meningkatkan produksi arang dan gas, namun menurunkan hasil minyak. Penurunan ini disebabkan senyawa volatil yang seharusnya membentuk fraksi cair mengalami cracking dan deoksigenasi menjadi gas, sehingga memperbesar proporsi produk non-cair.

Kata kunci: Pirolisis gelombang mikro; tanah merah; ampas kopi; kopi robusta; energi terbarukan

ABSTRACT

Global energy scarcity due to increasing demand and the negative impact of fossil fuel combustion has driven the use of biomass as a renewable energy source. One example is coffee grounds, which can be converted through microwave-assisted pyrolysis, a thermal decomposition process without O₂ that produces oil, charcoal, and gas. This study aims to analyze the effect of red soil catalyst variations on pyrolysis results. Experiments were conducted using mixtures of coffee grounds and red soil in ratios of 100:0, 95:5, and 90:10 from 50 g of 18-mesh material, heated with a 600 W microwave for 30 minutes, and a vacuum pump to remove oxygen. The results showed that adding 5% and 10% red soil increased charcoal and gas production but reduced oil yield. This reduction was due to volatile compounds that should form the liquid fraction undergoing cracking and deoxygenation into gas, thereby increasing the proportion of non-liquid products.

Keyword: Microwave assisted pyrolysis; red mud; coffee grounds; coffee canephora; renewable energy

PENDAHULUAN

Masalah kelangkaan energi menjadi perhatian global, karena permintaan energi yang meningkat dan dampak negatif dari pembakaran bahan bakar fosil, seperti efek rumah kaca, penipisan ozon, hujan asam, dan pencemaran lingkungan. Proporsi bahan bakar fosil menurun dengan munculnya sumber energi baru yang berkelanjutan, penggunaannya masih dominan di banyak negara, berkontribusi besar terhadap emisi Gas Rumah Kaca (GRK). Populasi global yang terus meningkat memperburuk situasi ini, dengan lonjakan konsumsi bahan bakar fosil yang belum pernah terjadi sebelumnya, mengakibatkan peningkatan emisi GRK yang mengkhawatirkan dan dampak serius pada lingkungan [1].

Sumber energi yang tidak menghasilkan emisi GRK seperti biomassa dan limbah padat perkotaan memiliki keunggulan. Biomassa, sebagai sumber energi yang dapat diperbaharui, dapat menyediakan energi secara berkesinambungan. Proses pirolisis menjadi penting dalam mengolah

biomassa karena, katalis yang digunakan dapat menurunkan kebutuhan energi, memperbaiki kuantitas dan kualitas produk, serta meningkatkan selektivitas produk akhir yang diinginkan [2].

Biomassa merupakan bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintetik, baik berupa produk maupun buangan. Contoh biomassa antara lain tanaman, pepohonan, rumput, ubi, limbah pertanian, limbah hutan, tinja, dan kotoran ternak. Biomassa ini dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan [3][4].

Ampas kopi robusta (*Coffea canephora*) yang merupakan hasil samping dari proses penyeduhan kopi juga mengandung senyawa bioaktif, sehingga berpotensi dimanfaatkan lebih lanjut, baik sebagai bahan tambahan dalam berbagai produk maupun dalam proses ekstraksi senyawa bioaktif [5]. Kandungan kimia yang terkandung dalam ampas kopi yakni lignin 20,07%, Selulosa 25,88% dan Hemiselulosa 3,60% [6]. Kandungan kimia tersebut berfungsi untuk mengubah biomassa menjadi *Bio-oil*, *bio char* dan gas. Untuk membant laju reaksi termal digunakan katalis tanah merah [7].

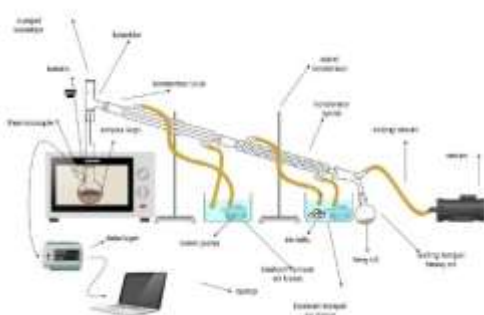
Pirolisis adalah proses termokimia yang dilakukan dalam kondisi tanpa oksigen, yang bertujuan menguraikan biomassa lignoselulosa, lignin, menjadi produk-produk bernilai seperti bahan bakar cair (*bio-oil*), gas ringan (seperti CO, CO₂, CH₄, dan H₂), serta padatan berupa *char* [8]. Pirolisis *microwave* adalah teknik yang menggunakan radiasi gelombang mikro. Metode ini memiliki beberapa keunggulan dibandingkan pirolisis konvensional, termasuk pemanasan yang lebih cepat dan efisien, distribusi panas yang lebih merata, dan kontrol proses yang lebih baik [9].

Berdasarkan latar belakang diatas, penelitian ini akan mengkaji pengaruh penambahan katalis tanah merah pada biomassa ampas kopi terhadap hasil produksi pirolisis. Tanah merah memiliki kandungan oksida logam yang stabil pada saat suhu tinggi yang dapat mempercepat laju reaksi serta kandungan lignin selulosa yang terdapat pada ampas kopi dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pirolisis, bantuan gelombang mikro dari *microwave* yang dapat memanaskan *biomassa* secara merata, dengan membandingkan pengaruh penggunaan katalis yang telah dikalsinasi untuk menghasilkan *liquid*, *char* dan gas.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan pada studi ini adalah metode eksperimental. Penelitian ini menggunakan variasi perbandingan penambahan campuran ampas kopi dan tanah merah sebanyak 100:0, 95:5, dan 90:10 dari 50gram, dengan ukuran 18 mesh. Dengan daya microwave yang digunakan adalah 600watt. Proses pirolisis dilakukan selama 30 menit. Pompa vakum dengan tekanan 0,08 MPa digunakan selama proses pirolisis untuk menghilangkan kandungan gas O₂. Variabel penelitian yang diamati adalah rendemen produk, temperatur selama proses pirolisis, produksi pirolisis dan visualisasi heavy oil.

INSTALASI PENELITIAN



Gambar 1. Instalasi *Microwave Assisted Pyrolysis*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil penelitian data di tampilkan meliputi rendemen *liquid*, *char*, dan gas

untuk setiap kondisi jumlah katalis yang diuji didapatkan halis data sebagai berikut:

1. Hasil Produksi Pirolisis

Data yang ditampilkan meliputi rendemen liquid, char, dan gas untuk setiap penambahan katalis yang digunakan. Hasil persentase produksi pirolisis pada penelitian ini menggunakan rumus sebagai berikut:

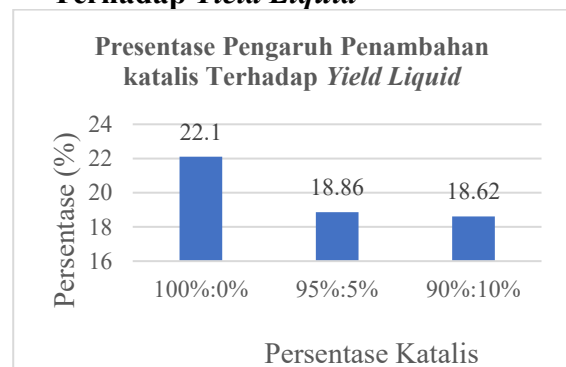
$$Liquid\% = \frac{\text{massa liquid}}{\text{massa bahan baku}} \times 100 \quad (1)[10]$$

Tabel 1. Hasil Produksi Pirolisis

Jumlah Katalis	Liquid (gr)	Liquid (%)
0%	11,05	22,1
5%	9,43	18,86
10%	9,31	18,62

Pada Tabel .1 grafik menunjukkan rendemen produk pirolisis *liquid*, yang di proses pirolisis pada variasi penambahan katalis. *Liquid* tertinggi di dapatkan dari ampas kopi yang tidak menggunakan katalis dengan hasil sebesar 11,05gr dengan temperature tertinggi selama pemanasan 114,98°C, pada variasi katalis 5% mendapatkan hasil liquid 9,43gr dengan temperatur tertinggi selama pemanasan 120,07°C, dan pada variasi katalis 10% mendapatkan hasil *liquid* terendah sebesar 9,31gr dengan temperatur tertinggi selama pemanasan 121,27°C. Hal ini disebabkan dalam proses pirolisis menyebabkan penurunan hasil *bio-oil* karena senyawa volatil yang semula membentuk fraksi cair mengalami cracking menjadi senyawa yang lebih ringan atau terkatalisis menjadi gas. Tanah merah mengandung logam transisi seperti Fe₂O₃ dan Al₂O₃ yang bersifat katalitik dan mendorong reaksi deoksigenasi, dekarboksilasi, dan cracking, sehingga mempercepat pemecahan senyawa besar menjadi molekul gas ringan. Selain itu, tanah merah juga mempercepat reaksi karbonisasi, menghasilkan struktur karbon aromatik yang lebih stabil dan meningkatkan fraksi char. Proses ini menghasilkan kecepatan reaksi yang lebih lambat dan konsumsi biomassa yang menurun, sehingga fraksi padat berupa *char* yang dihasilkan menjadi lebih tinggi.

a. Pengaruh penambahan Katalis Terhadap Yield Liquid

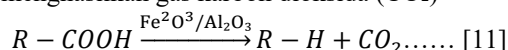


Gambar 1. Presentase Pengaruh Penambahan katalis Terhadap *Yield Liquid*

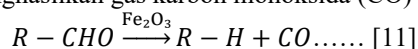
Pada gambar grafik 4.2 menunjukan bahwa pada proses pirolisis yang berlangsung selama 30 menit menghasilkan jumlah produk liquid dalam persentase yang terus mengalami penurunan dimasing-masing katalis yang digunakan. Berdasarkan data diatas hasil *yield liquid* tertinggi pada ampas kopi yang tidak menggunakan katalis dengan hasil liquid sebesar 22,1%, dikarenakan proses pirolisis *microwave* tanpa penambahan katalis tanah merah menghasilkan pemanasan volumetrik yang merata langsung ke dalam struktur ampas kopi. Energi gelombang mikro diserap oleh komponen polar dalam biomassa, seperti air dan senyawa organik, sehingga menghasilkan pemanasan internal yang cepat dan efisien. Akibatnya, ikatan kimia pada komponen utama biomassa selulosa, hemiselulosa, lignin, dan lipid terpecah secara termal dan menghasilkan senyawa volatil yang mengembun menjadi *bio-oil*. Proses ini cenderung mendominasi jalur reaksi primer tanpa banyak gangguan reaksi sekunder, sehingga *yield* fraksi cair (*bio-oil*) menjadi relatif tinggi.

Saat tanah merah ditambahkan sebagai katalis sebesar 5% dan 10% terhadap massa biomassa, terjadi perubahan signifikan pada jalur reaksi. Tanah merah mengandung berbagai mineral oksida, seperti Fe_2O_3 , Al_2O_3 , dan SiO_2 , yang bersifat katalitik. Kehadiran katalis ini mendorong terjadinya reaksi *cracking* dan deoksigenasi sekunder, Contoh reaksi deoksigenasi yang terjadi selama proses pirolisis adalah:

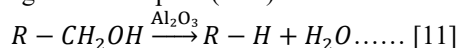
1. Dekarboksilasi
Gugus asam (COOH) dihilangkan dan menghasilkan gas karbon dioksida (CO_2)



2. Dekarbonilasi
Gugus aldehida yang dihasilkan dari pemecahan hemiselulosa dan lignin (CHO) dihilangkan dan menghasilkan gas karbon monoksida (CO)



3. Dehidrasi
Gugus *alcohol* (OH) dihilangkan dan menghasilkan uap air (H_2O)



Akibat berlangsungnya reaksi-reaksi ini, senyawa volatil yang seharusnya membentuk *bio-oil* berubah menjadi senyawa gas ringan seperti karbon dioksida (CO_2), karbon monoksida (CO), dan uap air (H_2O), hal ini menyebabkan penurunan *yield liquid* secara signifikan.

2. KESIMPULAN

Pengaruh jumlah penambahan katalis tanah merah terhadap hasil produksi pirolisis ampas kopi dengan pemanasan gelombang mikro yaitu, *yield char* dan *yield gas* semakin meningkat ketika jumlah katalis yang di tambahkan semakin banyak, dan

yield oil akan semakin menurun jika jumlah katalis yang digunakan lebih sedikit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada keluarga tercinta atas dukungan dan motivasinya, serta kepada Ibu Dr. Ena Marlina, S.T., M.T., dan Bapak Nur Robbis, S.T., M.T., atas bantuan materi dan teori. Tidak lupa, penulis juga berterima kasih kepada teman-teman penelitian yang selalu memberikan dukungan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Wang and W. Azam, "Geoscience Frontiers Natural resource scarcity , fossil fuel energy consumption , and total greenhouse gas emissions in top emitting countries," *Geoscience Frontiers*, vol. 15, no. 2, p. 101757, 2024, doi: 10.1016/j.gsf.2023.101757.
- [2] A. Arhamsyah, "Pemanfaatan Biomassa Kayu Sebagai Sumber Energi Terbarukan," *Jurnal Riset Industri Hasil Hutan*, vol. 2, no. 1, p. 42, 2010, doi: 10.24111/jrihh.v2i1.914.
- [3] D. Darmansyah, A. Khalid, M. Kasim, and T. Suprianto, "Pengaruh Ukuran Serbuk dan Kekerasan Kayu terhadap Kualitas Syngas Dari Pirolisis Biomassa," *Jurnal Syntax Admiration*, vol. 2, no. 4, pp. 592–600, Apr. 2021, doi: 10.46799/jsa.v2i4.213.
- [4] M. Firdaus Abadi, E. Marlina, and A. Raharjo, "PENGARUH VARIASI DAYA GELOMBANG MIKRO TERHADAP PRODUKSI PIROLISIS BIOMASSA TEMPURUNG KELAPA DENGAN KATALIS ZEOLIT."
- [5] N. Putu Diah Juliantari, L. Putu Wrsiati, and N. Made Wartini, "KARAKTERISTIK EKSTRAK AMPAS KOPI BUBUK ROBUSTA (Coffea canephora) PADA Characteristics Of Coffee Grounds Robusta Extract (Coffea canephora) In The Treatment Of Ethanol Solvent Concentration And Maceration Temperature," 2018.
- [6] D. V. Phuong, L. P. T. Quoc, P. Van Tan, and L. N. D. Duy, "Production of bioethanol from Robusta coffee pulp (Coffea robusta L.) in Vietnam," *Foods and Raw Materials*, vol. 7, no. 1, pp. 10–17, 2019, doi: 10.21603/2308-4057-2019-1-10-17.
- [7] A. P. Triswanto, E. Marlina, and N. Robbi, "PENGARUH KATALIS TANAH MERAH dan ABU VULKANIK terhadap PIROLISIS BIOMASSA TONGKOL JAGUNG."
- [8] X. Lu and X. Gu, "A review on lignin pyrolysis: pyrolytic behavior, mechanism, and relevant upgrading for improving process efficiency," Dec. 01, 2022, *BioMed Central Ltd*. doi: 10.1186/s13068-022-02203-0.
- [9] S. Allende, G. Brodie, and M. V. Jacob, "Microwave pyrolysis of various wastes and analysis of energy recovery," *Bioresour Technol Rep*, vol. 26, Jun. 2024, doi: 10.1016/j.biteb.2024.101821.
- [10] V. Aswie, L. Qadariah, and M. Mahfud, "Kinetics and Characterization of Microalgae Biofuel by

Microwave-assisted Pyrolysis Using Activated Carbon,” *Journal of Engineering and Technological Sciences*, vol. 54, no. 2, Mar. 2022, doi: 10.5614/j.eng.technol.sci.2022.54.2.7.

- [11] B. K. Yathavan and F. A. Agblevor, “Catalytic pyrolysis of pinyon-juniper using red mud and HZSM-5,” *Energy and Fuels*, vol. 27, no. 11, pp. 6858–6865, Nov. 2013, doi: 10.1021/ef401853a.