

Pengaruh Penambahan Katalis Tanah Merah Pada Biomassa Kopi *Arabica* Terhadap Hasil Produksi *Microwave Assisted Pyrolysis*

Nando Maulidin Lukmana¹, Ena Marlina², Nur Robbi³

¹ Teknik Mesin, Universitas Islam Malang, nandolukmana@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

Kebutuhan energi di Indonesia masih didominasi oleh bahan bakar fosil, terutama pada sektor transportasi dan industri. Namun, ketersediaannya semakin menurun serta menimbulkan dampak lingkungan berupa emisi gas rumah kaca. Oleh karena itu diperlukan energi alternatif yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh katalis tanah merah terhadap hasil pirolisis biomassa kopi Arabika menggunakan metode pirolisis mikrowave. Proses pirolisis dilakukan tanpa oksigen pada daya 600W selama 30 menit, dengan perbandingan massa biomassa dan katalis 100:0, 95:5, dan 90:10 dari total 50gram bahan. Tanah merah digunakan sebagai katalis alami karena memiliki sifat dielektrik yang mampu menyerap gelombang mikro dan membentuk titik panas, sehingga mempercepat reaksi termal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan tanah merah meningkatkan rendemen minyak, menurunkan residu padat, serta memperkaya kandungan senyawa volatil bernilai tinggi. Dengan demikian penggunaan tanah merah berpotensi meningkatkan efisiensi dan kualitas produk pirolisis kopi Arabika.

Kata kunci: pirolisis, microwave assisted pyrolysis, biomassa kopi, kopi Arabika, katalis tanah merah, bio-oil.

ABSTRACT

Indonesia's energy needs are still dominated by fossil fuels, especially in the transportation and industrial sectors. However, their availability is decreasing and has environmental impacts in the form of greenhouse gas emissions. Therefore, environmentally friendly and sustainable alternative energy is needed. This study aims to evaluate the effect of red soil catalyst on the pyrolysis results of Arabica coffee biomass using the Microwave Assisted Pyrolysis (MAP) method. The pyrolysis process was carried out without oxygen at 600W for 30 minutes, with a biomass to catalyst mass ratio of 100:0, 95:5, and 90:10 for a total of 50grams of material. Red soil is used as a natural catalyst because it has dielectric properties that can absorb microwaves and form hot spots, thereby accelerating the thermal reaction. The results showed that the addition of red soil increased bio-oil yield, reduced solid residue, and enriched the content of high-value volatile compounds. Thus, the use of red soil has the potential to increase the efficiency and quality of Arabica coffee pyrolysis products.

Keyword: pyrolysis, microwave assisted pyrolysis, coffee biomass, Arabica coffee, red earth catalyst, bio-oil.

PENDAHULUAN

Penggunaan energi di Indonesia masih didominasi oleh bahan bakar fosil, terutama dalam sektor transportasi dan industri. Namun, ketersediaan sumber energi ini semakin berkurang dan berpotensi habis di masa depan. Pemakaian fosil yang berkelanjutan juga menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan, salah satunya adalah meningkatnya emisi gas rumah kaca. Oleh karena itu, dibutuhkan alternatif energi baru yang lebih ramah lingkungan dan berkesinambungan [1].

Indonesia merupakan salah satu produsen kopi terbesar di dunia dengan keanekaragaman jenis kopi, di mana kopi Arabika (*Coffea arabica*) memiliki kualitas tinggi dan kadar kafein rendah (1–1,5%), sehingga banyak diminati di pasar domestik maupun internasional [2] , [3]. Proses pengolahan kopi menghasilkan biomassa berupa ampas yang berpotensi sebagai sumber energi terbarukan, seperti bahan baku pupuk organik, bioplastik, briket, maupun bioenergi[4].

Tanah merah merupakan jenis tanah dengan kandungan oksida besi (Fe_2O_3) tinggi yang memiliki sifat dielektrik, mampu menyerap gelombang mikro secara selektif, dan membentuk titik panas (*hot spots*) sehingga mempercepat reaksi pirolisis [5] .

Pirolisis berbantuan gelombang mikro (*Microwave Assisted Pyrolysis/MAP*) menawarkan pemanasan cepat, efisien, dan merata dibanding metode konvensional [6].

Penelitian ini mengkaji pengaruh penambahan katalis tanah merah pada biomassa ampas kopi Arabika terhadap hasil pirolisis MAP, dengan membandingkan rendemen bio-oil, biochar, dan gas. Fokus utama adalah menganalisis peran katalis tanah merah dalam meningkatkan efisiensi konversi biomassa dan kualitas produk pirolisis dengan perbandingan massa biomassa dan katalis 100:0, 95:5, dan 90:10 (persentase massa 50gram) pada daya 600W selama 30 menit menggunakan reaktor microwave.

TINJUAN PUSTAKA

Penelitian terkait *Microwave Assisted Pyrolysis* (MAP) dan katalis telah banyak dilakukan. [7] membandingkan kinerja pirolisis berbantuan gelombang mikro dengan metode konvensional, menemukan bahwa MAP memiliki pemanasan lebih cepat dan efisien, meskipun menghadapi tantangan pembentukan titik panas (*hot spots*) yang dapat diminimalkan dengan penggunaan katalis. [8] meneliti pirolisis campuran LDPE dan cangkang sawit dengan katalis zeolit serta CaO, menunjukkan

bahwa temperatur tinggi mempercepat degradasi termal dan meningkatkan rendemen minyak. [9] menggunakan lumpur merah (*red mud*) kaya Fe_2O_3 sebagai katalis pada pirolisis biomassa, terbukti meningkatkan reaksi deoksigenasi dan konversi produk, relevan dengan konsep penggunaan tanah merah dalam penelitian ini.

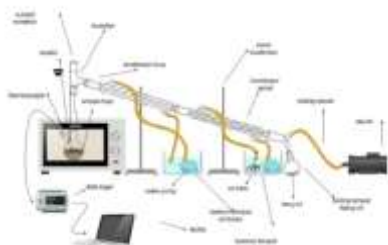
Penelitian terkait pemanfaatan ampas kopi menunjukkan potensi bahan ini sebagai sumber energi terbarukan. [10] mengolah ampas kopi menjadi briket bioenergi melalui pirolisis dengan suhu optimum 300°C untuk nilai kalor maksimum. [11] membuat biopellet dari ampas kopi dan serbuk gergaji, menemukan bahwa ukuran partikel lebih halus dan penggunaan perekat meningkatkan nilai kalor. [12] serta [13] menguraikan bahwa kandungan lignoselulosa dalam ampas kopi berperan penting dalam menghasilkan biochar, bio-oil, dan gas pada pirolisis. [14] menegaskan bahwa ampas kopi memiliki komposisi kimia yang mendukung penggunaannya sebagai bahan bakar terbarukan.

Penelitian terkait tanah merah (*red mud*) sebagai katalis juga menunjukkan prospek positif. [15] melaporkan bahwa tanah merah mengandung Fe, Al, dan Si yang berperan aktif dalam reaksi katalitik. [16] menemukan bahwa red mud mampu meningkatkan reaksi aromatisasi dan deoksigenasi pada pirolisis lignoselulosa. [17] membuktikan bahwa penambahan tanah merah pada pirolisis tongkol jagung meningkatkan yield minyak dari 38% menjadi 46%. Hasil-hasil penelitian tersebut menjadi dasar teoritis bahwa kombinasi biomassa kopi arabika dan katalis tanah merah dalam proses MAP berpotensi meningkatkan kualitas dan kuantitas produk pirolisis.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen nyata untuk mengkaji pengaruh penambahan katalis tanah merah pada biomassa ampas kopi arabika dalam proses *Microwave Assisted Pyrolysis* (MAP). Proses dilakukan menggunakan microwave berdaya 600 W dengan perbandingan biomassa–katalis: 100:0, 95:5, dan 90:10 dengan persentase massa 50 g. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Terpadu Universitas Islam Malang pada Februari–April 2025. Parameter yang diamati meliputi temperatur, visualisasi produk (*liquid smoke*, *heavy oil*), dan hasil pirolisis.

Instalasi Penelitian



Gambar 1. Skema instalasi microewave assisted pyrolysis

Biomassa ampas kopi arabika dan katalis tanah merah ditimbang sesuai variasi perbandingan (100:0, 95:5, 90:10) dengan total massa 50 g. Alat pirolisis dirangkai dengan sistem vakum, microwave berdaya 600 W, dan waktu operasi 30 menit. Suhu diukur menggunakan *thermocouple* tipe K yang terhubung ke *data logger* dan diolah melalui perangkat lunak Picolog, kemudian dianalisis menggunakan Origin untuk menentukan temperatur.

Produk pirolisis dipisahkan menjadi bio-oil, biochar, dan gas. Bio-oil diperoleh melalui kondensasi uap pada kondensor dan ditampung dalam wadah penampungan. Masing-masing produk ditimbang untuk menghitung rendemen (% yield) berdasarkan massa awal biomassa.

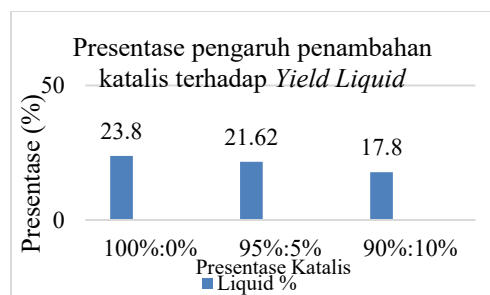
HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Terpadu Universitas Islam Malang menggunakan metode *Microwave Assisted Pyrolysis* (MAP) dengan reaktor labu leher bulat berkapasitas 1000 mL. Bahan baku yang digunakan adalah ampas kopi arabika dan katalis tanah merah berukuran 18 mesh (0,99 mm) dengan variasi perbandingan massa 100:0, 95:5, dan 90:10 dari total massa 50 gram. Proses pirolisis dijalankan selama 30 menit dengan pemanasan gelombang mikro. Produk yang dihasilkan terdiri atas cairan (*liquid*), arang (*char*), dan gas. Uap hasil reaksi dikondensasikan menggunakan kondensor lurus dan spiral untuk memperoleh produk cair.

Data hasil penelitian

Untuk kondisi jumlah katalis yang diuji didapatkan

hasil data *yield liquid* sebagai berikut:



Gambar 2 Persentase hasil produksi pirolisis *Yield Liquid*

Menunjukkan rendemen (*Liquid*, *Char*, dan *Gas*) yang diperoleh dari produk pirolisis dari penambahan katalis tanah merah pada proses pirolisis menggunakan biomassa ampas kopi arabika. *Liquid* tertinggi selama proses pirolisis didapatkan dari ampas kopi yang tidak menggunakan penambahan katalis dengan hasil mencapai 11,90gr dengan temperatur tertinggi selama proses pirolisis mencapai 100,12°C, pada variasi penambahan katalis 5% mendapatkan hasil *liquid* mencapai 10,81gr dengan temperatur tertinggi selama proses pirolisis mencapai 108,21°C, dan pada variasi penambahan katalis 10% mendapatkan hasil *liquid* mencapai 8,90gr dengan temperatur tertinggi selama proses pirolisis mencapai 112,48°C.

dihitung dengan menggunakan rumus dibawah ini:

$$\text{Liquid\%} = \frac{\text{massa liquid}}{\text{massa bahan baku}} \times 100$$

[18]

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa penambahan katalis tanah merah memberikan pengaruh signifikan terhadap penurunan *yield liquid* pada proses *Microwave Assisted Pyrolysis*. Semakin tinggi konsentrasi katalis yang digunakan, semakin rendah *yield liquid* yang dihasilkan.

Pada variasi 10% katalis, *yield liquid* terendah diperoleh sebesar 17,8%, jauh lebih rendah dibandingkan variasi tanpa katalis. Penurunan *yield liquid* ini berkaitan dengan peran aktif tanah merah yang mengandung oksida logam, sehingga mempercepat reaksi dekomposisi dan kondensasi senyawa volatil menjadi senyawa aromatik berat.

Dengan demikian, penggunaan katalis tanah merah terbukti efektif dalam menurunkan hasil fase cair.

UCAPAN TERIMA KASIH

Saya mengucapkan terima kasih banyak kepada kedua orang tua saya, Dr. Ena Marlina, S.T., M.T. dan Nur Robbi, S.T. M.T. karena telah membimbing, menutun dan mendukung saya pada proses mencari ilmu.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. F. Aswad, E. Marlina, and N. Robbi, "Pengaruh Variasi Daya Gelombang Mikro Terhadap Produksi Pirolisis Biomassa Buah Pinus Dengan Katalis Zeolit," 2021.
- [2] M. Syakir and E. Surmaini, "PERUBAHAN IKLIM DALAM KONTEKS SISTEM PRODUKSI DAN PENGEMBANGAN KOPI DI INDONESIA / Climate Change in the Context of Production System and Coffee Development in Indonesia," *J. Penelit. dan Pengemb. Pertan.*, vol. 36, no. 2, p. 77, 2017, doi: 10.21082/jp3.v36n2.2017.p77-90.
- [3] F. M. Anshori, "Analisis Keragaman Morfologi Koleksi Tanaman Kopi Arabika dan Robusta Balai Penelitian Tanaman Industri dan Penyegar Sukabumi," *Skripsi*, no. December, pp. 1–54, 2014, doi: 10.13140/RG.2.2.24208.66567.
- [4] S. A. N. Narisa and P. Herry, "Pembuatan Bioetanol dari Limbah Kulit Kopi Arabika dan Robusta dengan Variasi Waktu Fermentasi," *Proceeding of The URECOL*, vol. 11, pp. 220–228, 2020, [Online]. Available: <http://repository.urecol.org/index.php/proceeding/article/view/921>
- [5] R. Wahyudi, E. Marlina, and N. Robbi, "Pengaruh Katalis Tanah Merah Terhadap Produksi Bahan Bakar Pirolisis Dari Sampah Plastik Pp," *J. Tek. Mesin*, vol. 2, no. 18, pp. 1–6, 2023, [Online]. Available: <https://jim.unisma.ac.id/index.php/jts/article/view/18955>
- [6] N. Caroko, "Pirolisis Campuran PET dan LDPE Menggunakan Oven Microwave," *JMPM (Jurnal Mater. dan Proses Manufaktur)*, vol. 5, no. 1, pp. 25–34, 2021, doi: 10.18196/jmpm.v5i1.11947.
- [7] C. Mohabeer, N. Guilhaume, D. Laurenti, and Y. Schuurman, "Microwave-Assisted Pyrolysis of Biomass with and without Use of Catalyst in a Fluidised Bed Reactor: A Review," *Energies*, vol. 15, no. 9, 2022, doi: 10.3390/en15093258.
- [8] M. W. Ayatullah and H. Saptoadi, "Pengaruh Temperatur Pada Microwave Pirolisis Cangkang Kelapa Sawit dan Low Density Polyethylene Dengan Katalis Zeolite/Kalsium Oksida," *Proc. Ser. Phys. Form. Sci.*, vol. 1, pp. 95–102, 2021, doi: 10.30595/pspfs.v1i.140.
- [9] I. H. Kwak, E. H. Lee, J. B. Kim, S. C. Nam, and S. K. Ryi, "Hydrolysis of HFC-134a using a red mud catalyst to reuse an industrial waste," *J. Ind. Eng. Chem.*, vol. 136, no. December 2023, pp. 123–130, 2024, doi: 10.1016/j.jiec.2024.02.013.
- [10] V. D. PRATIWI, "Effect of Burning Temperature on The Quality of Alternatife Bio-energy from Coffee Waste," *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 8, no. 3, p. 615, 2020, doi: 10.26760/elkomika.v8i3.615.
- [11] M. Muazzinah, M. Meriatna, S. Bahri, N. ZA, and I. Ishak, "Pemanfaatan Limbah Ampas Kopi Menjadi Biomassa Pelet (Biopelet) Sebagai Sumber Energi Terbarukan," *Chem. Eng. J. Storage*, vol. 2, no. 3, p. 85, 2022, doi: 10.29103/cejs.v2i3.6518.
- [12] L. Bartolucci, S. Cordiner, P. Mele, and V. Mulone, "Defatted spent coffee grounds fast pyrolysis polygeneration system: Lipid extraction effect on energy yield and products characteristics," *Biomass and Bioenergy*, vol. 179, no. December 2022, p. 106974, 2023, doi: 10.1016/j.biombioe.2023.106974.
- [13] Y. F. Huang, P. Te Chiueh, W. H. Kuan, and S. L. Lo, "Microwave pyrolysis of lignocellulosic biomass: Heating performance and reaction kinetics," *Energy*, vol. 100, pp. 137–144, 2016, doi: 10.1016/j.energy.2016.01.088.
- [14] R. Ktori, P. Kamaterou, and A. Zabaniotou, "Spent coffee grounds valorization through pyrolysis for energy and materials production in the concept of circular economy," *Mater. Today Proc.*, vol. 5, no. 4, pp. 27582–27588, 2018, doi: 10.1016/j.matpr.2018.09.078.
- [15] L. Yu *et al.*, "Pyrolyzed carbon derived from red soil as an efficient catalyst for cephalixin removal," *Chemosphere*, vol. 277, 2021, doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.130339.
- [16] F. A. Agblevor *et al.*, "Reformulated Red Mud: a Robust Catalyst for In Situ Catalytic Pyrolysis of Biomass," *Energy and Fuels*, vol. 34, no. 3, pp. 3272–3283, 2020, doi: 10.1021/acs.energyfuels.9b04015.
- [17] A. P. Triswantoro, "PENGARUH KATALIS TANAH MERAH dan ABU VULKANIK terhadap PIROLISIS BIOMASSA TONGKOL JAGUNG," 2023.
- [18] M. Mahfud, L. Qadariyah, H. Haqqyana, and V. Aswie, "Optimization bio-oil production from Chlorella sp. through microwave-assisted pyrolysis using response surface methodology," *Green Energy Resour.*, vol. 2, no. 1, p. 100057, 2024, doi: 10.1016/j.gerr.2024.100057.