

PENGARUH PENAMBAHAN KATALIS *ZEOLITE* PADA BIOMASSA KOPI ARABICA TERHADAP HASIL PRODUKSI MICROWAVE ASSISTED PYROLISIS

Ilham Baharudin Yusuf¹, Ena Marlina², Nur Robbi³

¹ Teknik Mesin, Universitas Islam Malang, ilhamb414@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

ABSTRACT

Krisis energi global yang disebabkan oleh cadangan bahan bakar fosil yang terbatas telah mendorong kebutuhan akan energi terbarukan yang lebih ramah lingkungan. Biomassa, khususnya ampas kopi Arabika (Spent Coffee Grounds/SCG), memiliki potensi besar untuk digunakan karena ketersediaannya yang melimpah dan kandungan lignoselulosa yang tinggi. Proses Pyrolysis Bantu Mikrowave (MAP) dipilih karena lebih efisien daripada pyrolysis konvensional, dengan pemanasan yang cepat dan merata. Namun, kualitas bio-oil dari SCG masih rendah dengan kandungan oksigen yang tinggi. Penambahan katalis zeolite diharapkan dapat meningkatkan reaksi sekunder seperti pemecahan dan penghilangan oksigen, sehingga memperbaiki distribusi produk.

Studi ini menganalisis pengaruh variasi zeolite (0%, 5%, dan 10%) terhadap pirolisis ampas kopi Arabika menggunakan MAP pada 600 W selama 30 menit. Hasil menunjukkan bahwa penambahan zeolite menyebabkan penurunan yield bio-oil, namun berpengaruh terhadap kualitasnya melalui reaksi sekunder yang terjadi selama proses pirolisis. Temuan ini menegaskan peran zeolite dalam memengaruhi karakteristik bio-oil dan membuka peluang untuk pemanfaatan limbah kopi sebagai sumber energi alternatif yang berkelanjutan.

Kata kunci: Pirolisis, Ampas kopi Arabika, Katalis *zeolite*, pirolisis berbantuan gelombang mikro.

ABSTRACT

The global energy crisis caused by limited fossil fuel reserves has driven the need for more environmentally friendly renewable energy. Biomass, particularly Arabica coffee grounds (Spent Coffee Grounds/SCG), has great potential for use due to its abundant availability and high lignocellulose content. Microwave-Assisted Pyrolysis (MAP) was chosen because it is more efficient than conventional pyrolysis, with rapid and uniform heating. However, the quality of bio-oil from SCG is still low with high oxygen content. The addition of a zeolite catalyst is expected to enhance secondary reactions such as cracking and oxygen removal, thereby improving product distribution.

This study analyzed the effect of zeolite variations (0%, 5%, and 10%) on the pyrolysis of Arabica coffee grounds using MAP at 600 W for 30 minutes. The results show that the addition of zeolite causes a decrease in bio-oil yield, but affects its quality through secondary reactions that occur during the pyrolysis process. These findings confirm the role of zeolite in influencing the characteristics of bio-oil and open up opportunities for the utilization of coffee waste as a sustainable alternative energy source..

Keywords: *Pyrolysis, Arabica coffee grounds, zeolite catalyst, microwave-assisted pyrolysis.*

PENDAHULUAN

Krisis energi global telah mendorong upaya untuk menemukan sumber energi terbarukan yang berkelanjutan.[1] Biomassa muncul sebagai alternatif yang menjanjikan, mengingat ketersediaannya yang

melimpah dan sifatnya yang terbarukan.[2] Ampas kopi Arabika, produk limbah dari industri kopi, mengandung kadar selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang tinggi, menjadikannya sumber potensial bioenergi melalui pirolisis.[3]

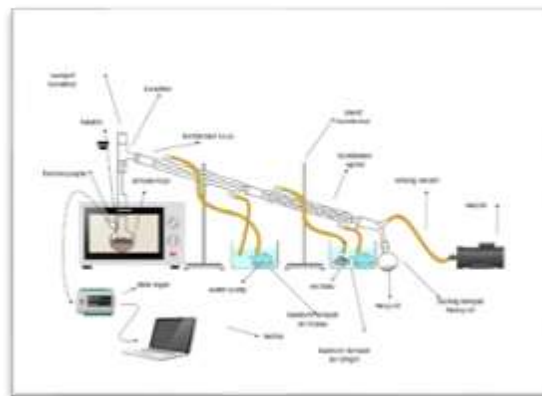
Pirolisis adalah dekomposisi termal biomassa pada suhu tinggi dalam kondisi tanpa oksigen atau dengan oksigen yang sangat terbatas, menghasilkan produk seperti bio-oil, biochar, dan gas. Teknologi Pirolisis Bantu Mikrowave (MAP) menawarkan beberapa keunggulan dibandingkan pirolisis konvensional, termasuk pemanasan volumetrik yang lebih cepat dan efisiensi energi yang lebih tinggi.[4] Pirolisis (MAP) adalah proses pemanasan biomassa dengan gelombang mikro tanpa oksigen, yang mempercepat dekomposisi sehingga menghasilkan bio-oil, arang, dan gas[5]

Penggunaan katalis, seperti *zeolite*, dapat mempengaruhi distribusi produk yang dihasilkan dari pirolisis.[6] *Zeolite* memiliki sifat asam dan struktur poros yang dapat memicu reaksi *deoxygenation* dan memecah senyawa berat menjadi molekul yang lebih ringan. [7] *zeolite* merupakan katalis yang berfungsi mempercepat reaksi pirolisis dengan cara menurunkan energi aktivasi. Material ini memiliki pori-pori berukuran mikroskopis sehingga mampu mempercepat dekomposisi senyawa organik pada biomassa.[8] Namun, efek jumlah katalis terhadap hasil produksi MAP pada biomassa kopi Arabika belum diteliti secara kuantitatif secara mendalam.[9]

Mengingat hal ini, penelitian ini dilakukan untuk mengeksplorasi efek penambahan katalis *zeolite* dengan persentase yang bervariasi terhadap hasil produk, suhu akhir, dan visualisasi hasil pirolisis ampas kopi Arabika.

METODE

Penelitian dilakukan secara eksperimental di Laboratorium Energi Terbarukan, Universitas Islam Malang, pada Februari–April 2025. Bahan yang digunakan adalah ampas kopi Arabica kering (ukuran <18 mesh) dan katalis *zeolite* alami yang telah dikalsinasi. Penelitian ini menggunakan metode MAP (*Microwave assisted pyrolysis*) Bahan baku biomassa ampas kopi Arabica dan katalis *zeolite* dicampurkan ke dalam reaktor boiling. Selanjutnya, *microwave* diaktifkan untuk memanaskan isi reaktor, yang menghasilkan asap cair. Asap cair tersebut kemudian ditarik oleh pompa vakum untuk mengalir menuju konsensor. Berikut instalasi alat yang digunakan:



Gambar. 1 skema instalasi penelitian

Ampas kopi terlebih dahulu dikeringkan di bawah sinar matahari, kemudian disaring hingga ukuran kurang dari 18 mesh. Bahan yang telah disiapkan ditimbang sesuai dengan variasi rasio biomassa dan katalis, lalu dimasukkan ke dalam reaktor flask mendidih dalam sistem MAP (*Microwave Assited Pyrolysis*). Proses pemanasan dilakukan menggunakan mikrowave selama 30 menit, sambil mengaktifkan pompa vakum untuk menarik uap menuju kondensor lurus dan spiral. Produk pirolisis dipisahkan menjadi bio-oil (ditimbang), biochar (ditimbang setelah pendinginan), dan gas (dihitung berdasarkan perbedaan massa). Suhu di dalam reaktor dicatat menggunakan *Thermocouple* tipe K yang terhubung ke data logger, sementara hasil eksperimen dianalisis melalui perhitungan persentase hasil dan disajikan dalam bentuk grafik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilaksanakan, temuan tersebut disajikan dalam bentuk persentase dan perhitungan data sesuai dengan hasil produksi yang telah diperoleh.

1. DATA HASIL PENELITIAN

Dalam penelitian ini menggunakan rumus 1-3 sebagai berikut ini:

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

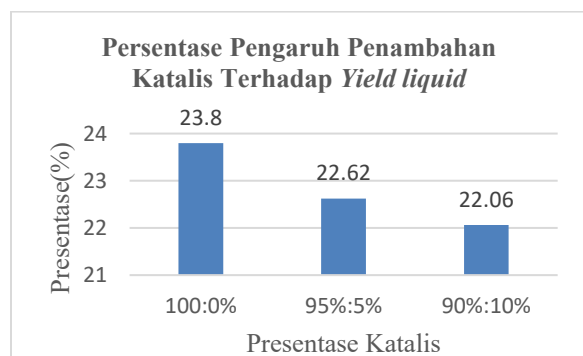
[10]

Jumlah katalis	Liquid (gr)	Liquid (%)
100:0	11,90	23,8
95:5	11,31	22,62
90:0	11,03	22,06

Tabel. 1 Data hasil penelitian

Liquid tertinggi di dapatkan pada proses pirolisis ampas kopi arabica dengan variasi katalis *zeolite*

sebesar 0% atau tanpa katalis sebanyak 11,90gr dan hasil *liquid* terendah di dapatkan pada proses pirolisis ampas kopi arabica dengan penambahan katalis 10% yaitu sebanyak gr. Hal ini dikarenakan *zeolite* memiliki karakteristik pori-pori mikro dan keasaman yang tinggi, sehingga mampu menyerap serta menahan senyawa tar berat dari hasil pirolisis. Senyawa tersebut tidak sepenuhnya terurai menjadi gas maupun bio-oil, melainkan terperangkap dalam pori-pori *zeolite* dan mengalami karbonisasi yang akhirnya membentuk *biochar*.



Gambar. 2 Grafik pengaruh penambahan katalis terhadap *Yield Liquid*

menunjukkan bahwa selama proses pirolisis yang berlangsung selama 30 menit, persentase produk *liquid* terus mengalami penurunan pada setiap jenis katalis yang digunakan. Berdasarkan data tersebut, *yield liquid* tertinggi diperoleh dari ampas kopi tanpa penggunaan katalis dengan hasil *Liquid* sebesar 23,8%.

Menurut [11] Hasil *liquid* yang lebih rendah pada pirolisis ampas kopi dengan katalis *zeolite* dikarenakan *liquid* yang dihasilkan dari proses pirolisis sangat dipengaruhi oleh komposisi kimia dari katalis *zeolite*. Kandungan SiO_2 yang tinggi membantu menurunkan kadar oksigen dalam bio-oil, sehingga menghasilkan *bio-oil* yang lebih murni dan memiliki nilai kalor yang lebih baik. Namun, keberadaan Al_2O_3 dan sifat asamnya mempercepat proses *cracking* dan *deoxygenation*, yang menyebabkan sebagian senyawa cair dipecah lebih lanjut menjadi gas atau padatan. Oleh karena itu, semakin tinggi kadar *zeolite* yang digunakan, justru hasil *liquid* bisa berkurang karena terjadi reaksi lanjutan.

KESIMPULAN

Penambahan katalis zeolit pada proses pirolisis biomassa ampas kopi dengan metode *Microwave Assisted Pyrolysis* (MAP) menyebabkan penurunan *yield liquid*, serta menghasilkan *bio-oil* dengan

karakteristik lebih gelap dan keruh akibat meningkatnya kandungan senyawa aromatik polisiklik (PAHs).

REFERENSI

- [1] X. Yang, Y. Zhang, P. Sun, and C. Peng, "A review on renewable energy: Conversion and utilization of biomass," *Smart Molecules*, vol. 2, no. 4, Dec. 2024, doi: 10.1002/smo.20240019.
- [2] A. Tursi, "A review on biomass: Importance, chemistry, classification, and conversion," 2019, *Green Wave Publishing of Canada*. doi: 10.18331/BRJ2019.6.2.3.
- [3] 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 Bioenergy*, vol. 179, Dec. 2023, doi: 10.1016/j.biombioe.2023.106974.
- [4] Y. Zhang *et al.*, "Fast microwave-assisted pyrolysis of wastes for biofuels production – A review," Feb. 01, 2020, *Elsevier Ltd*. doi: 10.1016/j.biortech.2019.122480.
- [5] B. Fatkhur Rochman, E. Marlina, and N. Robbi, "PENGARUH VARIASI DAYA GELOMBANG MIKRO TERHADAP PRODUKSI PIROLISIS BIOMASSA KULIT PINUS DENGAN KATALIS ZEOLITE." 2020.
- [6] W. Han, D. Han, and H. Chen, "Pyrolysis of Waste Tires: A Review," Apr. 01, 2023, *MDPI*. doi: 10.3390/polym15071604.
- [7] R. Hartono and E. Suhendi, "PEMURNIAN MINYAK JELANTAH DENGAN MENGGUNAKAN STEAM PADA KOLOM VIGREK DAN KATALIS ZEOLITE ALAM BAYAH," 2020. [Online]. Available: <http://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jip>
- [8] M. Firdaus Abadi, E. Marlina, and A. Raharjo, "PENGARUH VARIASI DAYA GELOMBANG MIKRO TERHADAP PRODUKSI PIROLISIS BIOMASSA

TEMPURUNG KELAPA DENGAN
KATALIS ZEOLITE.”

- [9] A. Hanra Sebayang *et al.*, “POTENSI LIMBAH CANGKANG KERANG SEBAGAI KATALIS HETEROGEN UNTUK PEMBUATAN BIODIESEL,” pp. 139–147, 2024, doi: 10.21776/jrm.v15i3.1428.
- [10] 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 and Resources*, vol. 2, no. 1, Mar. 2024, doi: 10.1016/j.gerr.2024.100057.
- [11] R. Adawiyah Meor Mohamad Zain, N. Farrah Izzaty Shaari, M. Faiz Mohd Amin, M. Jani, M. Kelantan, and J. Campus, “EFFECTS OF DIFFERENT DOSE OF ZEOLITEE (CLINOPTILOLITE) IN IMPROVING WATER QUALITY AND GROWTH PERFORMANCE OF RED HYBRID TILAPIA (*Oreochromis* sp.),” vol. 13, no. 24, 2018, [Online]. Available: www.arpnjournals.com
- [12] Z. Li, Z. Zhong, B. Zhang, W. Wang, G. V. S. Seufitelli, and F. L. P. Resende, “Effect of alkali-treated HZSM-5 zeolitee on the production of aromatic hydrocarbons from microwave assisted catalytic fast pyrolysis (MACFP) of rice husk,” *Science of the Total Environment*, vol. 703, Feb. 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.134605.