

PENGARUH PENAMBAHAN KATALIS ZEOLIT PADA BIOMASSA KOPI ROBUSTA TERHADAP HASIL PRODUKSI *MICROWAVE ASSISTED PYROLYSIS*

Siti Nur Halingga¹, Ena Marlina², Nur Robbi³

¹ Teknik Mesin, Universitas Islam Malang

e-mail : nurhalingga@gmail.com

² Teknik Mesin, Agro-Renew Centre for Energy, Water, and Environment Technologies, Universitas Islam Malang

e-mail : enamarlina@unisma.ac.id

³ Teknik Mesin, Universitas Islam Malang

e-mail : nurrobi@unisma.ac.id

ABSTRAK

Peningkatan kebutuhan energi global mendorong pemanfaatan sumber energi berkelanjutan. Limbah kopi, seperti ampas robusta dan kulit kopi, berpotensi dikonversi menjadi bioenergi karena kandungan lignoselulosanya. Pirolisis dapat mengubah biomassa menjadi bio-oil, biochar, dan gas bernilai ekonomi. Penggunaan katalis, terutama zeolit, menurunkan energi aktivasi, mempercepat deoksigenasi, meningkatkan rendemen *bio-oil*, dan menekan pembentukan *char*. Penelitian ini mengkaji pemanfaatan ampas kopi robusta melalui *Microwave Assisted Pyrolysis* (MAP) dengan variasi katalis zeolit 0%, 5%, dan 10% pada massa 50 gr, daya 600 Watt, selama 30 menit. Parameter yang dianalisis meliputi rendemen cair, padat, gas, suhu, dan karakteristik *heavy oil*. Hasil menunjukkan penambahan katalis berpengaruh signifikan terhadap distribusi produk *yield* cair meningkat dari 22,1% menjadi 24,58%, sedangkan *yield char* tertinggi 61,38% diperoleh pada 5% katalis. Temuan ini menegaskan potensi katalis zeolit untuk mengoptimalkan konversi limbah kopi menjadi energi bernilai tinggi dan mendukung pengembangan energi terbarukan.

Kata kunci: Pirolisis, Ampas kopi robusta, Zeolit, *Bio-oil*, Energi terbarukan

ABSTRACT

The growing global energy demand encourages the exploration of sustainable energy sources. Coffee waste, such as Robusta spent grounds and husks, has potential for bioenergy conversion due to its lignocellulosic content. Pyrolysis can transform biomass into economically valuable bio-oil, biochar, and syngas. Catalyst application, particularly zeolite, lowers activation energy, accelerates deoxygenation, increases bio-oil yield, and reduces char formation. This study investigates the utilization of Robusta coffee grounds through Microwave-Assisted Pyrolysis (MAP) with zeolite catalyst variations of 0%, 5%, and 10% using 50 gr feedstock at 600 W for 30 minutes. Parameters analyzed include liquid, char, and gas yields, process temperature, and heavy oil characteristics. Results show that catalyst addition significantly affects product distribution liquid yield increased from 22.1% to 24.58%, while the highest char yield of 61.38% was obtained at 5% catalyst. These findings highlight the potential of zeolite catalysts to optimize coffee waste conversion into high-value energy products and support renewable energy development.

Keywords : *Pyrolysis, Robusta coffee grounds, Zeolite, Bio-oil, Renewable energy*

PENDAHULUAN

Pertumbuhan industri dan meningkatnya kebutuhan energi global telah mendorong pencarian sumber energi alternatif yang ramah lingkungan. Salah satu solusi potensial adalah pemanfaatan limbah biomassa, khususnya limbah pertanian seperti ampas kopi robusta dan kulit kopi yang melimpah. Di Indonesia sebagai salah satu produsen kopi terbesar dunia[1]. Potensi biomassa ini belum sepenuhnya dimanfaatkan, padahal limbah kopi mengandung lignoselulosa yang kaya akan selulosa, hemiselulosa, dan lignin, yang dapat diolah menjadi gula reduksi atau *bio-oil* melalui proses pirolisis[2]. Proses pirolisis mampu mengonversi bahan organik menjadi *bio-oil*, *bio-char*, dan gas sintetis yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif[3].

Katalis zeolit berperan penting dalam proses pirolisis biomassa karena mampu menurunkan energi

aktivasi sehingga reaksi dekomposisi berlangsung lebih cepat. Penggunaan zeolit terbukti meningkatkan rendemen *bio-oil* sekaligus menekan pembentukan *char*, sebab lebih banyak biomassa yang terurai menjadi uap dan kemudian terkondensasi menjadi cairan. Selain itu, zeolit juga membantu memperbaiki kualitas *bio-oil* dengan menurunkan kadar oksigen, sehingga nilai kalor meningkat dan residu padatan berkurang. Kondisi ini tidak hanya menghasilkan bahan bakar cair yang lebih baik, tetapi juga membuat proses pirolisis lebih efisien serta mengurangi potensi gangguan pada peralatan[4].

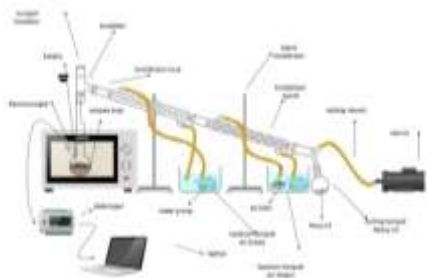
Selain zeolit, katalis lain seperti karbon aktif, oksida logam, dan zeolit termodifikasi juga terbukti meningkatkan selektivitas dan mutu produk pirolisis dalam pengurangan senyawa oksigenasi pada *bio-oil* [5]. Pirolisis merupakan salah satu metode yang banyak di gunakan untuk mengonversi biomassa atau minyak nabati menjadi *bio-oil*, gas, dan *char*. Kualitas

bio-oil yang dihasilkan tidak hanya dipengaruhi oleh kondisi operasi dan penggunaan katalis, tetapi juga oleh struktur kimia penyusun minyak nabati[6].

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa kombinasi katalis zeolit dengan logam dapat memengaruhi struktur molekul bahan baku, mempercepat reaksi, serta meningkatkan distribusi produk. Dengan ketersediaan limbah biomassa kopi yang melimpah dan teknologi pirolisis berbasis katalis yang terus berkembang, peluang pemanfaatan limbah tersebut sebagai sumber energi terbarukan sangat besar. Penerapan teknologi ini di Indonesia berpotensi mendukung ketahanan energi. Selain menurunkan ketergantungan pada sumber energi fosil, hal ini juga berkontribusi pada peningkatan ekonomi dan kelestarian lingkungan.

METODE

Penelitian yang di gunakan metode eksperimen nyata. Data penelitian di analisis melalui pengamatan langsung terhadap visualisasi asap cair melalui proses pirolisis yang dilakukan oleh peneliti. Metode regresi linier berganda diterapkan sebagai alat analisis untuk memperoleh kesimpulan dan menentukan hasil penelitian. Faktor-faktor yang dipertimbangkan dalam penelitian ini meliputi produksi pirolisis, temperatur, dan visualisasi *heavy oil*.



Gambar 1. Skema Alat *Microwave Assited Pyrolysis*

Skema tersebut menggambarkan proses pirolisis ampas kopi dengan menggunakan metode *Microwave Assited Pyrolysis* dengan biomassa ampas kopi robusta 50gr yang sudah di keringkan sehingga kandungan kadar airnya berkurang. Proses ini menggunakan reaktor *boilling flask* dengan kapasitas 1000ml yang dipanaskan dengan daya *microwave* 600 Watt dengan waktu 30 menit tanpa udara (anaerob) menggunakan bantuan variasi penggunaan katalis zeolit 100%:0%, 95%:5%, dan 90%:10% . Dan tekanan vakum yang di gunakan Selama pemanasan sebesar 800mbar (0,08mpa), ampas kopi terurai menjadi uap gas yang mengalir melalui pipa menuju kondensor. Kondensor yang dialiri air dingin atau es batu berfungsi mendinginkan uap sehingga berubah menjadi cairan yang ditampung sebagai *bio-oil* atau *heavy oil*, sedangkan gas yang tidak terkondensasi dialirkan ke pompa vakum untuk penanganan selanjutnya, suhu proses dipantau melalui

thermocouple yang dikoneksikan dengan *data logger* dan laptop. Sehingga seluruh tahapan dapat dikendalikan dan diawasi. Sistem ini di gunakan untuk pemisahan produk yang di hasilkan dari proses pirolisis tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan pada penelitian yang di lakukan selama proses pengambilan data di sajikan dalam bentuk data yang sesuai pada *microwave assited pyrolysis* :

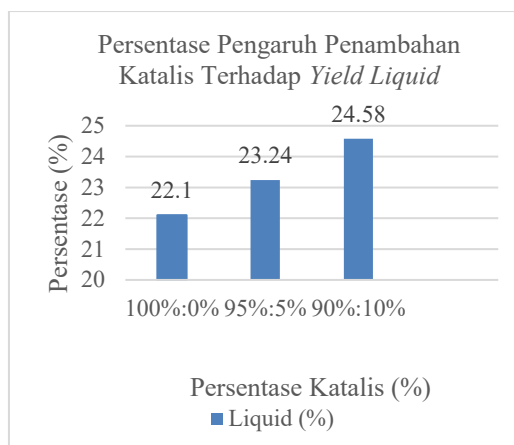
1. DATA HASIL PENELITIAN

Tabel 1. Data *Yield Liquid* hasil proses pirolisis *microwave*

Jumlah Katalis (gr)	Waktu (Menit)	Bahan Baku (gr)	Liquid (gr)	Liquid (%)
100%:0%	30	50	11,05	22,1
95%:5%	30	50	11,62	23,24
90%:10%	30	50	12,29	24,58

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

Sumber: [7]



Gambar 2. Presentase Pengaruh Penambahan Katalis Terhadap *Yield Liquid*

Grafik di atas menunjukkan penambahan katalis dalam proses pirolisis ampas kopi menunjukkan tren peningkatan terhadap *yield* produk cair (*liquid*), sebagaimana ditunjukkan oleh kenaikan bertahap dari 22,1%, 23,24% menjadi 24,58% saat persentase katalis dinaikkan dari 0%, 5%, dan 10%. Peningkatan hasil *Yield Liquid* dari penelitian ini disebabkan adanya pengaruh deoksigenasi pada proses pirolisis yang berperan penting dalam meningkatkan hasil *liquid* dengan cara menghilangkan gugus oksigen dari senyawa hasil pirolisis biomassa melalui reaksi seperti dehidrasi, dekarbonilasi, dan dekarboksilasi, sehingga menghasilkan pelepasan H_2O , CO , dan CO_2 . Pengurangan kandungan oksigen ini membuat *bio-oil* lebih stabil secara kimia dan termal, mengurangi kecenderungan polimerisasi menjadi padatan, serta

meningkatkan fraksi cair yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar. Penggunaan katalis, seperti zeolit atau logam teremban, mempercepat reaksi deoksigenasi dan mengarahkan konversi senyawa berat menjadi fraksi cair ringan yang stabil, sehingga reaksi reforming dan cracking lebih terkontrol, meminimalkan pembentukan gas berlebih, dan pada akhirnya meningkatkan *yield liquid* [8].

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai *Microwave Assisted Pyrolysis*, berikut adalah kesimpulannya :

1. Katalis zeolit memberikan pengaruh positif terhadap peningkatan rendemen cair pada proses pirolisis berbantu *microwave* dengan biomassa ampas kopi robusta. Hal ini menegaskan peran katalis zeolit dalam mempercepat reaksi dekomposisi termal dan menurunkan energi aktivasi, sehingga proses konversi biomassa menjadi fraksi cair dapat berlangsung lebih optimal.
2. Proses deoksigenasi dengan katalis zeolit membantu meningkatkan kualitas *bio-oil* dengan mengurangi kandungan oksigen melalui reaksi dehidrasi, dekarbonilasi, dan dekarboksilasi.

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 Robbi, S.T., M.T., atas bantuan materi dan teori. Tidak lupapenulis juga berterima kasih kepada teman-teman penelitian yang selalu memberikan dukungan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Bartolucci, L., et al., *Defatted spent coffee grounds fast pyrolysis polygeneration system: lipid extraction effect on energy yield and products characteristics*. 2023. **179**: p. 106974.
2. Nury, D., M.Z. Luthfi, and Y.J.J. Variyana, *Pengaruh Pretreatment Alkali Hidroksida Terhadap Produksi Gula Reduksi dari Limbah Kulit Kopi*. 2023. **1**(1): p. 1-6.
3. Wijayanti, W.J.J.R.M., *Efek Zeolit untuk Produksi Tar dan Char pada Pirolisis Rotary Kiln*. 2021. **12**(1): p. 51-58.
4. Abadi, M.F., E. Marlina, and A.J.J.T.M. Raharjo, *Pengaruh Variasi Daya Gelombang Mikro terhadap Produksi Pirolisis Biomassa Tempurung Kelapa dengan Katalis Zeolit*. 2025. **22**(01): p. 49-56.
5. Liu, J., et al., *Biomass pyrolysis technology by catalytic fast pyrolysis, catalytic co-pyrolysis and microwave-assisted pyrolysis: a review*. 2020. **10**(7): p. 742.
6. Marlina, E., et al., *The role of pole and molecular geometry of fatty acids in vegetable oils droplet*

on ignition and boiling characteristics. 2020. **145**: p. 596-603.

7. Aswie, V., et al., *Kinetics and Characterization of Microalgae Biofuel by Microwave-assisted Pyrolysis Using Activated Carbon*. 2022. **54**(2).
8. Dongoran, J., et al., *Perkembangan Zeolit Sebagai Katalis Alam Potensial*. 2021. **3**(2): p. 28-39.