

PENGARUH PENAMBAHAN KATALIS KARBON AKTIF KAYU ULIN PADA PROSES PIROLISIS PLASTIK PET TERHADAP HASIL PRODUKSI BAHAN BAKAR

Widhi Ramadhan Arifian¹, Ena Marlina², Akhmad Faruq Alhikami³, Ahmad Yani⁴

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Islam Malang
Jalan MT Haryono 193 Malang, 6514, Indonesia
LPPM Universitas Islam Malang, Jalan MT. Haryono 193 Malang, 65144, Indonesia
Email: 22001052073@unisma.ac.id

ABSTRAK

Peningkatan jumlah limbah plastik PET (Polyethylene Terephthalate) dan kebutuhan energi alternatif mendorong pengembangan teknologi konversi limbah menjadi bahan bakar melalui proses pirolisis. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan katalis karbon aktif kayu ulin terhadap yield dan nilai kalor bahan bakar cair hasil pirolisis plastik PET. Metode yang digunakan adalah eksperimental, dengan proses pirolisis pada suhu 350°C selama 2 jam menggunakan variasi katalis sebesar 0%, 10%, dan 20% dari massa bahan baku. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kondisi tanpa katalis (0%) diperoleh yield bahan bakar cair sebesar 78% dengan nilai kalor 46,42 MJ/kg. Penambahan katalis 10% menghasilkan yield tertinggi sebesar 80,8% dengan nilai kalor tertinggi 47,88 MJ/kg, sedangkan pada penambahan katalis 20% yield menurun menjadi 72,2% dengan nilai kalor 46,85 MJ/kg. Penurunan ini diduga disebabkan oleh terjadinya secondary cracking yang meningkatkan pembentukan gas dan residu karbon (charcoal). Dapat disimpulkan bahwa penggunaan katalis karbon aktif kayu ulin sebesar 10% merupakan kondisi optimum untuk meningkatkan kuantitas dan kualitas bahan bakar cair hasil pirolisis plastik PET.

Kata Kunci: *Pirolisis, Plastik PET, Karbon Aktif Kayu Ulin, Yield Bahan Bakar Cair, Nilai Kalor, Energi Alternatif.*

ABSTRACT

The increasing volume of PET (Polyethylene Terephthalate) plastic waste and the growing demand for alternative energy have encouraged the development of waste-to-fuel conversion technology through pyrolysis. This study aims to determine the effect of adding ironwood (ulin wood) activated carbon catalyst on the yield and calorific value of liquid fuel produced from PET plastic pyrolysis. An experimental method was used, with the pyrolysis process conducted at 350°C for 2 hours using catalyst variations of 0%, 10%, and 20% of the feedstock mass. The results showed that without catalyst (0%), the liquid fuel yield was 78% with a calorific value of 46.42 MJ/kg. The addition of 10% catalyst produced the highest yield of 80.8% and the highest calorific value of 47.88 MJ/kg, while the addition of 20% catalyst decreased the yield to 72.2% with a calorific value of 46.85 MJ/kg. This decrease is presumably caused by secondary cracking, which increases gas formation and carbon residue. It can be concluded that the use of 10% ironwood activated carbon catalyst is the optimum condition for improving both the quantity and quality of liquid fuel produced from PET plastic pyrolysis.

Keywords: *Pyrolysis, PET Plastic, Ironwood Activated Carbon, Liquid Fuel Yield, Calorific Value, Alternative Energy.*

PENDAHULUAN

Peningkatan konsumsi plastik di berbagai sector telah menyebabkan bertambahnya jumlah limbah plastik yang sulit terurai di lingkungan. Salah satu jenis plastik yang paling banyak digunakan adalah *polyethylene terephthalate*

(PET), terutama sebagai bahan baku kemasan minuman karena memiliki sifat ringan, kuat dan tahan terhadap bahan kimia. Namun, sifat tersebut juga menyebabkan limbah PET memerlukan waktu yang sangat lama untuk terdegradasi secara alami sehingga berpotensi

mencemari tanah maupun perairan. Di sisi lain, kebutuhan energi terus meningkat seiring pertumbuhan penduduk dan perkembangan industry, sementara ketergantungan terhadap bahan bakar fosil masih sangat tinggi. Kondisi tersebut mendorong pengembangan teknologi yang mampu mengatasi permasalahan limbah plastik sekaligus menghasilkan sumber energi alternatif yang lebih berkelanjutan.

Salah satu teknologi yang dinilai efektif adalah pirolisis, yaitu proses dekomposisi termal material organik pada kondisi tanpa oksigen atau dengan jumlah oksigen yang sangat terbatas. Melalui proses ini, limbah plastik dapat dikonversi menjadi produk berupa bahan bakar cair, gas, dan residu karbon. Kualitas maupun kuantitas produk pirolisis dipengaruhi oleh berbagai parameter operasi, seperti suhu, waktu reaksi, jenis bahan baku, serta penggunaan katalis. Penambahan katalis diketahui mampu menurunkan energi aktivasi, mempercepat reaksi perengkahan (*cracking*), meningkatkan selektivitas produk cair, serta memperbaiki karakteristik bahan bakar yang dihasilkan.

Berbagai penelitian sebelumnya telah menggunakan katalis komersial seperti zeolite, alumina, maupun katalis berbasis logam untuk meningkatkan performa proses pirolisis. Meskipun mampu meningkatkan konversi plastik menjadi bahan bakar cair, penggunaan katalis tersebut umumnya memiliki harga yang relative tinggi dan ketersediaanya terbatas. Oleh karena itu, pemanfaatan karbon aktif berbasis biomassa mulai banyak dikembangkan sebagai katalis alternatif karena memiliki luas permukaan yang besar, struktur pori yang berkembang, serta gugus fungsi aktif yang mampu mempercepat reaksi perengkahan dan deoksigenasi selama proses pirolisis. Selain lebih ekonomis, karbon aktif biomassa juga mendukung konsep pemanfaatan sumber daya local dan pengembangan teknologi yang lebih ramah lingkungan.

Kayu ulin merupakan salah satu biomassa yang berpotensi dikembangkan sebagai bahan baku karbon aktif karena memiliki kandungan karbon tinggi dan struktur yang stabil setelah proses karbonisasi dan aktivasi. Karbon aktif kayu ulin memiliki pori-pori serta gugus fungsi aktif yang dapat menyediakan lebih banyak situs katalitik sehingga diharapkan mampu meningkatkan

konversi PET menjadi fraksi hidrokarbon ringan, meningkatkan hasil bahan bakar cair, serta memperbaiki nilai kalor produk. Namun, kajian mengenai pemanfaatan karbon aktif kayu ulin sebagai katalis pada proses pirolisis plastik PET masih relative terbatas, khususnya terkait pengaruh variasi jumlah katalis terhadap distribusi produk dan kualitas bahan bakar cair yang dihasilkan. Kondisi tersebut menunjukkan masih adanya kesenjangan penelitian (*research gap*) yang perlu dikaji lebih lanjut.

Berdasarkan uraian diatas, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan katalis karbon aktif kayu ulin sebesar 0%, 10%, dan 20% terhadap proses pirolisis plastik PET pada suhu 350°C selama 2 jam. Parameter yang dianalisis meliputi *yield* bahan bakar cair, massa gas, massa residu (*charcoal*), serta nilai kalor produk cari. Kebaruan (*novelty*) penelitian ini terletak pada pemanfaatan karbon aktif kayu ulin sebagai katalis local pada pirolisis plastik PET serta penentuan komposisi katalis optimum yang mampu menghasilkan bahan bakar cair dengan kuantitas dan kualitas terbaik. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan teknologi konversi limbah plastik menjadi energi alternatif sekaligus mendukung upaya pengurangan pencemaran lingkungan dan pemanfaatan biomassa local secara berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

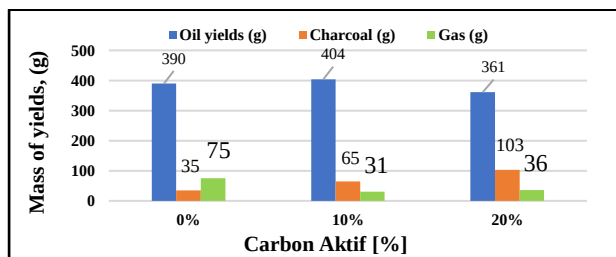
Metode yang digunakan yaitu dengan menggunakan metode eksperimental pirolisis dengan PET dan carbon aktif kayu ulin untuk mengetahui hasil produksi (volume) dan nilai kalor bahan bakar.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Hasil Pengujian

Tabel 1. Data Hasil Pengujian Pirolisis Plastik PET

Suhu pirolisis (°C)	Massa bahan (g)	Campuran katalis (%)	Oil yields (ml)	Oil yields (g)	Charcoal (g)	Gas (g)
350	500	0	520	390	35	75
350	500	10	543	404	65	31
350	500	20	450	361	103	36



Pengaruh Katalis terhadap Yield Bahan Bakar Cair

Pada variasi tanpa katalis (0%), diperoleh yield bahan bakar cair sebesar 78% (390 g dari 500 g bahan baku). Penambahan katalis 10% meningkatkan yield menjadi 80,8% (404 g), yang merupakan hasil tertinggi dalam penelitian ini. Peningkatan ini menunjukkan bahwa katalis karbon aktif kayu ulin mampu mempercepat reaksi cracking rantai polimer PET sehingga lebih banyak senyawa volatil yang terkondensasi menjadi bahan bakar cair.

Namun, pada penambahan katalis 20%, yield justru menurun menjadi 72,2% (361 g). Penurunan ini diduga disebabkan oleh terjadinya secondary cracking, yaitu perengkahan lanjutan terhadap uap hidrokarbon yang telah terbentuk menjadi molekul lebih ringan yang tidak dapat terkondensasi, sehingga meningkatkan pembentukan gas dan menurunkan volume produk cair (Abnisa, 2023).

Pengaruh Katalis terhadap Produk Charcoal dan Gas

Tanpa katalis, dihasilkan charcoal sebesar 35 g dan gas 75 g. Pada penambahan katalis 10%, charcoal meningkat menjadi 65 g sedangkan gas menurun menjadi 31 g, menunjukkan bahwa katalis mengarahkan distribusi produk lebih dominan ke fraksi cair. Pada penambahan katalis 20%, charcoal meningkat signifikan menjadi 103 g dan gas meningkat menjadi 36 g, mengindikasikan terjadinya secondary cracking serta pembentukan residu karbon yang lebih banyak akibat jumlah katalis berlebih.

Pengaruh Katalis terhadap Nilai Kalor

Nilai kalor bahan bakar cair tanpa katalis sebesar 46,42 MJ/kg, meningkat menjadi 47,88 MJ/kg pada penambahan katalis 10% sebagai nilai tertinggi dalam penelitian ini. Peningkatan nilai kalor menunjukkan bahwa katalis mampu

meningkatkan fraksi hidrokarbon dengan kandungan energi lebih tinggi melalui mekanisme deoksigenasi. Pada penambahan katalis 20%, nilai kalor menurun menjadi 46,85 MJ/kg, yang diduga disebabkan oleh reaksi secondary cracking yang menguraikan sebagian senyawa hidrokarbon bernilai energi tinggi menjadi gas ringan yang tidak terkondensasi.

Penentuan Kondisi Optimum

Berdasarkan analisis gabungan antara yield dan nilai kalor, kondisi optimum diperoleh pada penambahan katalis karbon aktif kayu ulin sebesar 10%, dengan yield tertinggi (80,8%) dan nilai kalor tertinggi (47,88 MJ/kg). Hasil ini menunjukkan bahwa karbon aktif kayu ulin berperan efektif dalam mempercepat reaksi dekomposisi termal plastik PET pada jumlah optimum, namun penggunaan berlebih (20%) justru menurunkan performa proses akibat dominasi reaksi secondary cracking.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan mengenai pengaruh penambahan katalis karbon aktif kayu ulin pada proses pirolisis plastik PET, dapat disimpulkan bahwa penambahan katalis berpengaruh signifikan terhadap peningkatan yield dan kualitas bahan bakar cair. Yield meningkat dari 78% (tanpa katalis) menjadi 80,8% pada penambahan katalis 10%, namun menurun menjadi 72,2% pada penambahan katalis 20% akibat terjadinya secondary cracking. Nilai kalor tertinggi juga diperoleh pada penambahan katalis 10%, yaitu sebesar 47,88 MJ/kg, dibandingkan 46,42 MJ/kg (0%) dan 46,85 MJ/kg (20%). Dengan demikian, penggunaan katalis karbon aktif kayu ulin sebesar 10% merupakan kondisi optimum yang mampu meningkatkan kuantitas dan kualitas bahan bakar cair hasil pirolisis plastik PET.

DAFTAR PUSTAKA

- Abnisa, F. (2023). Enhanced Liquid Fuel Production from Pyrolysis of Plastic.
- Aprianti, N., Faizal, M., Said, M., & Nasir, S. (2021). Catalytic Gasification of Oil Palm Empty Fruit Bunch by Using Indonesian

- Bentonite as the Catalyst. *Journal of Applied Engineering Science*, 19(2), 334–343.
- E. Marlina, A. F. Alhikami, S. Asmaniyah Mardiyani, T. Trismawati, and C. Yazirin, "Catalytic Pyrolysis of Plastic Waste using Red Mud and Limestone: Pyrolytic Oil Production and Ignition Characteristics," *Automotive Experiences*, vol. 7, no. 3, pp. 579–591, 2024, doi: 10.31603/ae.12830.
- H. Jung, J. Kim, and S. Lee, "Catalytic Pyrolysis of PET Plastic Waste over Carbon-Based Catalysts," *Fuel*, vol. 326, 2022.
- Langer, J., Quist, J., & Blok, K. (2021). Review of Renewable Energy Potentials in Indonesia and Their Contribution to a 100% Renewable Electricity System. *Energies*, 14(21).
- L. Wang, Y. Li, and X. Zhang, "Catalytic Conversion of Polyethylene Terephthalate Waste into Liquid Fuel," *Energy*, vol. 269, 2023.
- M. Panda, R. Singh, and A. Mishra, "Activated Carbon as Catalyst in Plastic Waste Pyrolysis," *Fuel Processing Technology*, vol. 235, 2022.
- Olalo, J. A. (2022). Pyrolytic Oil Yield from Waste Plastic in Quezon City, Philippines: Optimization Using Response Surface Methodology. *International Journal of Renewable Energy Development*, 11(1), 325–332.
- R. A. A. Nugroho, A. F. Alhikami, and W.-C. Wang, "Thermal decomposition of polypropylene plastics through vacuum pyrolysis," *Energy*, vol. 277, p. 127707, 2023, doi: 10.1016/j.energy.2023.127707.
- Rasaidi, N., Daud, A. R. M., & Ismail, S. N. (2022). Kinetics and Thermodynamic Analysis of Thermal Decomposition of Waste Virgin PE and Waste Recycled PE. *International Journal of Renewable Energy Development*, 11(3), 829–838.
- Wijayanti, W., Musyaroh, & Sasongko, M. N. (2022). Low-Density Polyethylene Plastic Waste to Liquid Fuel Using Pyrolysis Method: An Effect of Temperatures on the Oil Yields Physicochemical Properties. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, 10(3), 1–18.
- Wijayanti, W., Musyaroh, Sasongko, M. N., Kusumastuti, R., & Sasmoko. (2021). Modelling Analysis of Pyrolysis Process with Thermal Effects by Using Comsol Multiphysics. *Case Studies in Thermal Engineering*, 28.
- Wijayanti, W., Sasongko, M. N., & Musyaroh. (2021). Pyrolysis Yields of Tobacco Crop Residue as a Potential Alternative Fuel Source. *Journal of Engineering Research (Kuwait)*, 9(2), 15–26.
- Yani, A. (2021). Pengolahan Limbah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak untuk Mengatasi Sampah Plastik di Kota Bontang. *Jurnal Sains Terapan*, 7(2), 36–41.
- Y. Wang, X. Li, and H. Zhao, "Recent Progress in Catalytic Pyrolysis of Plastic Waste toward Sustainable Fuel Production," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 189, 2024.
- Y. Zhang et al., "Catalytic Upgrading of Plastic Pyrolysis Oil Using Activated Carbon," *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 11, 2023.