

Analisa Pengaruh Variasi Rasio Katalis Zeolit Terhadap Pirolisis Limbah Kabel dan Limbah Ban

Muhamad Vikri Fadhlullah¹, Adhes Gamayel², M Zaenudin^{3,*}, MUZ Priyadi⁴

^{1,2,3}Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Global Jakarta

^{1,2,3}Jl. Boulevard Raya No. 2, Tirtajaya, Sukmajaya, Kota Depok, 16412, Indonesia

email: ¹ vikriajah200@gmail.com, ² adhes@jgu.ac.id, ³ mzaenudin@jgu.ac.id, ⁴ zaenalpriyadi@jgu.ac.id

Abstract - The accumulation of waste in the environment has become a critical issue, necessitating effective solutions, one of which is pyrolysis technology for treating waste such as tires and cables. Pyrolysis is a thermal degradation process that occurs under limited oxygen conditions, producing gas, tar, and char as byproducts. This study aims to evaluate the effect of varying zeolite catalyst ratios on the amount of oil produced and the production rate in the pyrolysis process of cable waste, tire waste, and their mixture. The catalyst ratios used in this study were 100, 200, and 300 grams, along with a control condition without a catalyst. The results indicated that the use of 300 grams of zeolite catalyst produced the highest oil yield, with 141 ml from cable waste, 233 ml from tire waste, and 238 ml from the mixed waste. In contrast, the absence of a catalyst yielded the lowest oil production, with 64 ml from cable waste, 85 ml from tire waste, and 137 ml from the mixed waste. These findings suggest that the use of zeolite catalyst significantly enhances both the production rate and quantity of oil compared to the condition without a catalyst.

Keywords – waste recycling; waste treatment; waste pyrolysis; pyrolysis process optimization; catalyst

Abstrak - Penumpukan limbah di lingkungan menjadi masalah serius yang memerlukan solusi efektif, salah satunya adalah melalui teknologi pirolisis untuk penanganan limbah seperti limbah ban dan kabel. Pirolisis adalah proses degradasi termal yang berlangsung dalam kondisi oksigen terbatas, menghasilkan produk berupa gas, tar, dan char. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi rasio katalis batu zeolit terhadap jumlah minyak yang dihasilkan serta laju produksi minyak pada proses pirolisis limbah kabel, limbah ban, dan campurannya. Variasi rasio katalis yang digunakan adalah 100, 200, dan 300 gram serta kondisi tanpa katalis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan 300 gram katalis batu zeolit menghasilkan minyak tertinggi yaitu 141 ml untuk limbah kabel, 233 ml untuk limbah ban, dan 238 ml untuk campuran limbah kabel dan ban. Sebaliknya, kondisi tanpa katalis menghasilkan minyak terendah yaitu 64 ml untuk limbah kabel, 85 ml untuk limbah ban, dan 137 ml untuk campuran limbah. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa penggunaan katalis batu zeolit secara signifikan meningkatkan laju dan jumlah produksi minyak dibandingkan dengan kondisi tanpa katalis.

Kata Kunci – daur ulang limbah; pengolahan limbah, pirolisis limbah; proses optimasi pirolisis; katalis

I. PENDAHULUAN

Kurangnya penanganan limbah di lingkungan dapat menyebabkan penumpukan limbah seperti limbah rumah tangga dan industri [1,2]. Limbah dapat berupa cair atau padat. Limbah ban bekas pakai adalah salah satu contoh limbah padat yang ada di sekitar kita. Limbah padat ban bekas sangat berbahaya bagi lingkungan. Sarang nyamuk dan sumber penyakit dapat terkumpul di limbah ban bekas. Karena ban

bekas akan mengisi ruang di *landfill* (Tempat Pembuangan Akhir), membuang ban bekas di sana akan menjadi masalah besar. Ban bekas sangat sulit didegradasi oleh alam karena strukturnya yang kompleks dan sulit didaur ulang. Ban bekas pakai baru-baru ini hanya digunakan untuk membuat karya seni (bandulan, kursi) [3].

Sampah elektronik mengandung B3, yang berdampak negatif terhadap manusia dan lingkungan, karena itu membutuhkan penyelesaian yang tepat. Mengingat fakta bahwa Indonesia adalah negara terpadat keempat di dunia dan merupakan salah satu konsumen elektronik terbesar di dunia, ada kemungkinan besar bahwa negara tersebut akan menyumbangkan sejumlah besar sampah elektronik. Menurut laporan tahunan Global E-Waste Monitor 2020, yang dirilis oleh PBB, jumlah sampah elektronik mencapai 53 juta ton pada tahun 2019. PBB memperkirakan jumlah ini akan mencapai 74 juta ton pada tahun 2030 dan akan naik lagi menjadi 120 juta ton pada tahun 2050. Sekitar 17,4% limbah elektronik yang mengandung campuran zat berbahaya serta berharga yang dikumpulkan, di proses, dan di daur ulang dengan baik. Sampah elektronik di Indonesia akan mencapai 2 juta ton pada tahun 2021. Sekitar 56% limbah elektronik yang dihasilkan di pulau Jawa pada tahun 2021 [4].

Pirolisis adalah proses dekomposisi kimia bahan organik melalui pemanasan tanpa atau sedikit oksigen. Proses ini juga menghasilkan material padat seperti karbon aktif atau karbon hitam serta gas yang tidak dapat dikondensasi (CO, CO₂, CH₄ dan lain-lain) dan gas yang dapat dikondensasi (tar). Proses kondensasi gas yang tidak dapat dikondensasi menghasilkan minyak. Proses pirolisis dipengaruhi oleh dua komponen: waktu, yang berarti lamanya proses berlangsung dan berat partikel, yang berarti bahwa semakin banyak bahan yang dimasukkan akan menghasilkan lebih banyak bahan bakar cair dan arang [5].

Zeolit katalis dalam pirolisis berfungsi untuk membantu laju dekomposisi, pengukuran rantai panjang hidrokarbon, memiliki ukuran pori-pori, akurasi yang baik, dan dipilih karena tersedia berlimpah di alam dan mudah diperoleh [6].

Batu zeolit adalah kristal alumina silika berbentuk tiga dimensi dengan rongga di dalamnya yang mengandung ion logam (biasanya alkali atau alkali tanah dan molekul air yang dapat bergerak bebas). Batu zeolit memiliki beberapa kelebihan yang membuatnya menjadi salah satu mineral yang tepat untuk digunakan sebagai amelioran [7].

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh [3] dengan judul penelitian pengaruh temperatur terhadap hasil proses pirolisis pada ban bekas pakai, pada penelitiannya menggunakan ban bekas dan ban bekas dengan katalis. Tujuan dari penelitiannya adalah untuk mengetahui pengaruh temperatur terhadap proses pirolisis pada ban bekas murni dan

ban bekas dengan katalis, selain itu juga untuk mengetahui pengaruh temperatur terhadap karakteristik hasil produk ditinjau dari nilai viskositas, densitas dan *flash point*-nya. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh [8] dengan judul penelitian proses pembuatan bahan bakar cair dengan memanfaatkan limbah ban bekas menggunakan katalis zeolit, penelitian ini dilakukan melalui proses pirolisis dengan menambah katalis zeolite 20%, 40%, 60%, dan 80% dari berat karet ban bekas (500 gram), serta tanpa katalis. Tujuannya adalah untuk mengetahui bagaimana berat katalis dan waktu operasi berdampak pada volume bahan bakar cair yang dihasilkan.

Perbedaan penelitian kami dengan penelitian sebelumnya tentang pirolisis karet ban bekas adalah kami menambahkan bahan baku yaitu limbah kabel serta campuran limbah kabel dan limbah ban dengan menggunakan katalis batu zeolit sebesar 100, 200 dan 300 gram, serta tanpa katalis batu zeolit dengan berat bahan baku sebesar 1 kilogram.

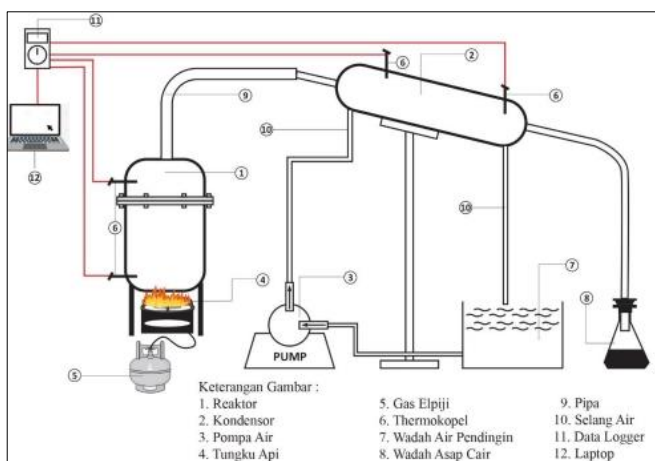
II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan bahan utama berupa limbah kabel, limbah ban, serta campuran limbah kabel dan limbah ban. Total bahan yang digunakan terdiri dari 1 kg limbah kabel dan 1 kg limbah ban, serta campuran dari keduanya dengan masing-masing proporsi 500 gram. Sebelum proses pirolisis, limbah kabel dan limbah ban dipotong menjadi ukuran sekitar 1 cm untuk mempermudah pengolahan. Katalis yang digunakan dalam penelitian ini adalah batu zeolit, yang terlebih dahulu dihancurkan menggunakan palu dan diayak dengan ukuran 100 *mesh* untuk memastikan partikel yang lebih halus dan seragam. Variasi penggunaan katalis meliputi empat kondisi: tanpa katalis (non-katalis), katalis zeolit sebanyak 100 gram, 200 gram, dan 300 gram. Proses pirolisis dilakukan dalam durasi 1 jam (60 menit) untuk masing-masing kondisi, dengan tujuan untuk mengamati pengaruh variasi katalis terhadap hasil pirolisis berupa minyak yang dihasilkan. Skema alat pirolisis yang digunakan dapat dilihat pada Gbr. 1.

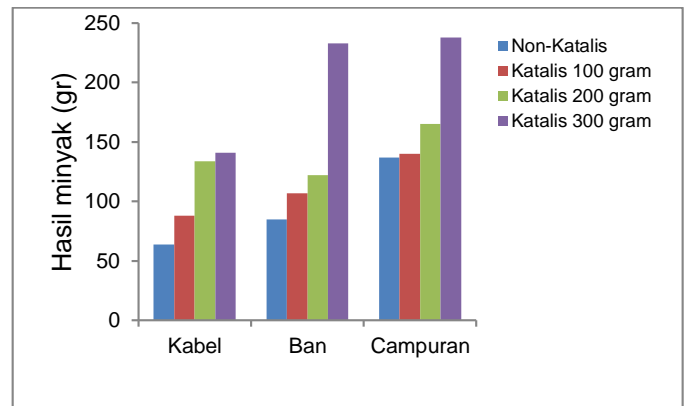
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Rendemen Minyak

Berdasarkan pada Gbr. 2 menunjukkan bahwa pirolisis limbah kabel menggunakan katalis batu zeolit sebesar 300 gram lebih banyak menghasilkan minyak dibandingkan dengan katalis batu zeolit 100, 200 gram dan tanpa menggunakan katalis batu zeolit.



Gbr. 1 Skema alat pirolisis.



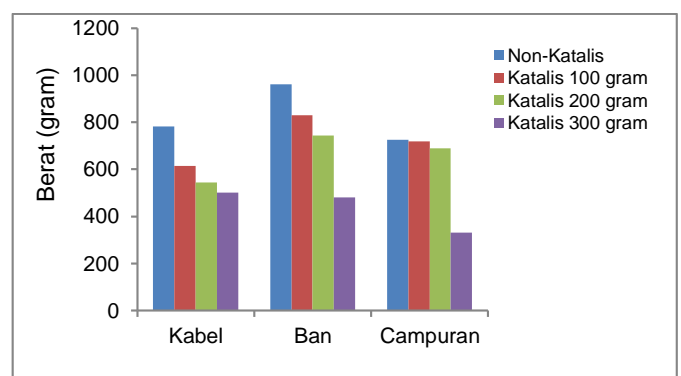
Gbr. 2 Grafik hasil minyak pirolisis.

Pada pirolisis limbah ban dengan menggunakan katalis batu zeolit sebesar 300 gram lebih banyak menghasilkan lebih banyak minyak dibandingkan dengan katalis batu zeolit 100, 200 gram dan tanpa menggunakan katalis batu zeolit. Pada pirolisis campuran kabel dan ban dengan menggunakan katalis batu zeolit sebesar 300 gram lebih banyak menghasilkan minyak dibandingkan dengan katalis batu zeolit 100, 200 gram dan tanpa menggunakan katalis batu zeolit. Sedangkan pada pirolisis limbah ban tanpa menggunakan katalis zeolit menghasilkan minyak lebih banyak dibandingkan dengan limbah kabel dan campuran limbah kabel-limbah ban. Dalam pirolisis, ada tiga produk utama yang dihasilkan: arang (fase padat), minyak pirolisis (fase cair), dan gas (fase gas). Penggunaan katalis mempengaruhi keseimbangan antara ketiga produk ini. Katalis mengarahkan reaksi untuk memproduksi lebih banyak fase cair (minyak pirolisis) daripada arang atau gas. Oleh karena itu, dengan semakin banyaknya katalis yang digunakan, lebih sedikit arang yang dihasilkan, dan lebih banyak minyak.

3.2 Rendemen Arang

Pada Gbr. 3 menunjukkan bahwa pada limbah kabel non-katalis menghasilkan arang sebanyak 783,3 gram. Pada limbah kabel dengan katalis 100 gram, arang yang dihasilkan berkurang menjadi 613,8 gram. Pada limbah kabel dengan katalis 200 gram, arang berkurang lagi menjadi 544,5 gram. Pada limbah kabel dengan katalis 300 gram, arang yang dihasilkan adalah 501,5 gram.

Pada limbah ban non-katalis menghasilkan arang sebanyak 961,5 gram. Pada limbah ban dengan katalis 100 gram, arang yang dihasilkan menjadi 830 gram. Pada limbah ban dengan katalis 200 gram, arang yang dihasilkan adalah 744,2 gram. Pada limbah ban dengan katalis 300 gram, arang yang dihasilkan berkurang menjadi 481,2 gram.



Gbr. 3 Grafik hasil minyak pirolisis.

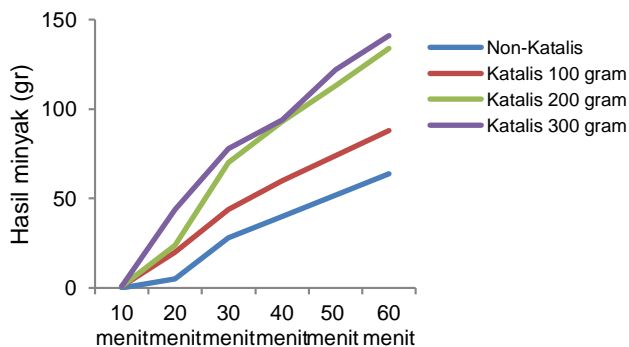
Sedangkan pada campuran limbah kabel dan ban non-katalis menghasilkan arang sebanyak 726,57 gram. Pada campuran limbah kabel dan ban dengan katalis 100 gram, arang yang dihasilkan adalah 719,4 gram. Pada campuran limbah kabel dan ban dengan katalis 200 gram, arang yang dihasilkan adalah 688,6 gram. Pada campuran limbah kabel dan ban dengan katalis 300 gram, arang yang dihasilkan berkurang menjadi 532,1 gram.

Penggunaan katalis cenderung mengurangi hasil arang pirolisis pada semua jenis limbah. Pengurangan jumlah arang terlihat lebih signifikan pada jumlah katalis yang lebih tinggi.

Pada proses pirolisis, semakin banyak katalis yang digunakan menghasilkan arang yang lebih sedikit dikarenakan arang atau char terbentuk dari sisa-sisa material yang tidak sepenuhnya terurai selama pirolisis. Dengan menggunakan katalis, hampir semua senyawa organik dalam limbah terurai menjadi bentuk *volatile* (minyak atau gas). Hal ini menyebabkan lebih sedikit material yang tetap dalam bentuk padat, sehingga sisa arang yang dihasilkan lebih sedikit.

3.3 Laju Produksi Minyak Limbah Kabel

Pada Gbr. 4, grafik laju produksi minyak limbah kabel menunjukkan bahwa produksi minyak meningkat seiring bertambahnya waktu pada semua kondisi, namun dengan laju yang berbeda. Kondisi dengan katalis 300 gram menghasilkan minyak paling banyak dalam waktu 60 menit, diikuti oleh katalis 200 gram, 100 gram, dan tanpa katalis. Ini menunjukkan bahwa penggunaan katalis mempercepat laju produksi minyak, dan semakin banyak katalis yang digunakan, semakin tinggi laju produksi minyaknya.



Gbr. 4 Laju produksi minyak limbah kabel.

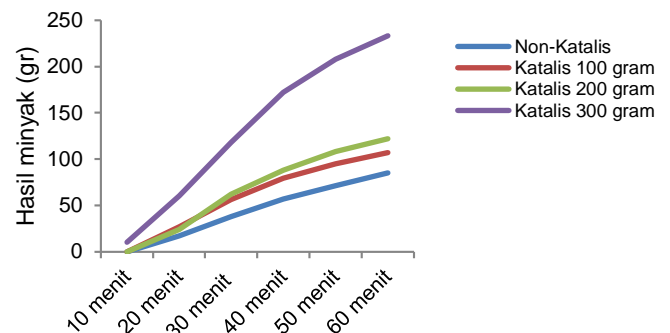
3.4 Laju Produksi Minyak Limbah Ban

Pada Gbr. 5 menunjukkan bahwa produksi minyak meningkat seiring dengan waktu pada semua kondisi, tetapi dengan laju yang berbeda. Kondisi dengan katalis 300 gram menghasilkan minyak paling banyak dalam waktu 60 menit, diikuti oleh katalis 200 gram, 100 gram, dan tanpa katalis. Penggunaan katalis mempercepat laju produksi minyak dari limbah ban, dan semakin banyak katalis yang digunakan, semakin tinggi laju produksi minyak yang dihasilkan.

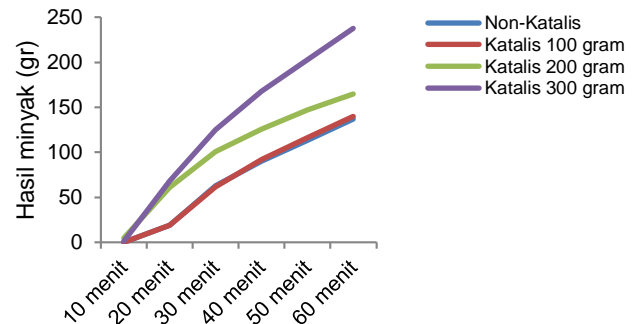
3.5 Laju Produksi Minyak Campuran Limbah Kabel dan Limbah Ban

Pada Gbr. 6 menunjukkan bahwa produksi minyak meningkat seiring waktu pada semua kondisi, dengan hasil yang berbeda-beda tergantung pada jumlah katalis yang digunakan. Katalis 300 gram menghasilkan minyak paling banyak dalam waktu 60 menit, diikuti oleh katalis 200 gram, 100 gram, dan tanpa katalis. Penggunaan katalis meningkatkan

laju produksi minyak dari campuran limbah kabel dan ban. Semakin banyak katalis yang digunakan, semakin tinggi laju produksi minyak yang dihasilkan. Grafik ini menunjukkan bahwa kombinasi limbah kabel dan ban bersama dengan katalis memberikan hasil produksi minyak yang lebih optimal dibandingkan dengan tanpa katalis.



Gbr. 5 Laju produksi minyak limbah ban.



Gbr. 6 Laju produksi minyak limbah campuran limbah kabel dan ban..

IV. KESIMPULAN

Penggunaan katalis batu zeolit dalam proses pirolisis limbah kabel dan ban terbukti meningkatkan jumlah produksi minyak yang dihasilkan. Pada pirolisis limbah kabel, penggunaan 300 gram katalis batu zeolit menghasilkan minyak sebanyak 141 ml, sedangkan tanpa katalis hanya menghasilkan 64 ml. Hasil serupa juga terlihat pada pirolisis limbah ban, di mana penggunaan 300 gram katalis batu zeolit menghasilkan minyak sebanyak 233 ml, sedangkan tanpa katalis menghasilkan 85 ml. Untuk campuran limbah kabel dan ban, penggunaan katalis batu zeolit 300 gram menghasilkan 238 ml minyak, sementara tanpa katalis hanya menghasilkan 137 ml. Data tersebut menunjukkan bahwa semakin banyak katalis yang digunakan, semakin tinggi jumlah minyak yang dihasilkan. Laju produksi minyak juga meningkat seiring waktu dengan penggunaan katalis batu zeolit dibandingkan tanpa katalis, terutama terlihat pada pirolisis limbah kabel, di mana minyak diproduksi lebih konsisten pada interval waktu yang lebih pendek saat menggunakan 300 gram katalis.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih para penulis sampaikan kepada Universitas Global Jakarta atas dukungannya selama menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. E. Farin, "Penumpukan sampah plastik yang sulit terurai berpengaruh pada lingkungan hidup yang akan datang." *Universitas Lambung Mangkurat, Banjarmasin*, 2021.

- [2] A. Kahfi, Tinjauan terhadap pengelolaan sampah. *Jurisprudentie: Jurusan Ilmu Hukum Fakultas Syariah dan Hukum*, 4(1), 12-25, 2017.
- [3] H. Mahmudi and L. F. Mukaromah, "Pengaruh temperatur terhadap hasil proses pirolisis pada ban bekas pakai," *Jurnal Mesin Nusantara*, vol. 1, no. 1, p. 19, 2018, doi: 10.29407/jmn.v1i1.12292.
- [4] R. E. Izzaty, B. Astuti, and N. Cholimah, "Sambutan Direktur Jenderal Pengelolaan Sampah, Limbah Dan B3 Pada Webinar Pengelolaan Sampah Elektronik Dalam Rangka International E-Waste Day 2021," *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952., pp. 5–24, 2021.
- [5] A. Saputra, L. K. Mangalla, and S. Salimin, "Pemanfaatan Minyak Pirolisis Ban Bekas Menjadi Bahan Bakar Alternatif," *Enthalpy : Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Mesin*, vol. 7, no. 1, p. 9, 2022, doi: 10.55679/enthalpy.v7i1.24495.
- [6] Widya and Jayanti, "Efek Zeolit Untuk Produksi Tar dan Char Pada Pirolisis Rotary KILN Widya," no. March 2020, pp. 51–58, 2021.
- [7] A. Nabiila, W. Kurniasih, A. Khoirunnisa, and R. R. Putra, "Kombinasi dan Aktivasi Ulang Batu Zeolit sebagai Media Tanam Pertumbuhan Tanaman Bayam (*Amaranthus Sp*) Combination and Reactivation of Zeolite Stone as Growing Media for Spinach (*Amaranthus Sp*) Plants," vol. 1, no. 2, pp. 145–152, 2020.
- [8] S. Arita, A. Assalami, and D. I. Naibaho, "Proses Pembuatan Bahan Bakar Cair Dengan Memanfaatkan Limbah Ban Bekas Menggunakan Katalis Zeolit," *Teknik Kimia*, vol. 21, no. 2, pp. 8–14, 2015.