

Research Paper

Zeolit Alam Sebagai Katalis Pyrolisis Limbah Ban Bekas Menjadi Bahan Bakar Cair

Natural Zeolite as Pyrolysis Catalyst of Used Tires into Liquid Fuels

Supriyanto¹, Ismanto¹, dan Nuryo Suwito^{2*}

¹ Jurusan Teknik Mesin, Universitas Janabadra

Jalan Tentara Rakyatmataram 55-57, Yogyakarta, Indonesia, 554231

² Jurusan Teknik Mesin, Universitas Nusantsara PGRI Kediri

Jl.KH. Achmad Dahlan No. 76, Mojoroto Kediri, Indonesia, 64112

*Email: suwitounp@gmail.com

doi: <https://doi.org/10.31603/ae.v2i1.2377>

Published by Automotive Laboratory of Universitas Muhammadiyah Magelang collaboration with Association of Indonesian Vocational Educators (AIVE)

Article Info

Submitted:

19/11/2018

Revised:

06/04/2019

Accepted:

11/04/2019

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan energi yang terkandung di dalam ban bekas menjadi bahan bakar cair. Sebuah metode experimental nyata dengan temperatur pyrolisis sebagai variabel bebas dan viskositas, densitas, dan flash point sebagai variabel terikat. Sementara itu, suhu kondensor dan tekanan dijadikan sebagai variabel kontrol. Data menunjukkan adanya pengaruh temperatur terhadap hasil yang didapat, semakin tinggi temperatur, semakin banyak minyak yang diperoleh. Bahan baku juga sangat mempengaruhi jumlah dan kualitas bahan bakar cair yang dihasilkan. Terakhir, penggunaan katalis pada proses pyrolisis ban bekas mengurangi fraksi cairan namun meningkatkan kualitas produk.

Kata kunci: Pyrolisis; Ban bekas; Zeolit alam

Abstract

This study aims to utilize the energy contained in used tires into liquid fuels. A real experimental method with pyrolysis temperature as an independent variable and viscosity, density, and flash point as the dependent variable. Meanwhile, the condenser temperature and pressure are used as control variables. Data shows the influence of temperature on the results obtained, the higher the temperature, the more oil is obtained. Raw materials also greatly affect the amount and quality of liquid fuels produced. Finally, the use of catalysts in the pyrolysis process of used tires reduces the liquid fraction but improves product quality.

Key words: Pyrolysis; Used tires; Natural zeolite

1. Pendahuluan

Jumlah limbah ban bekas di Indonesia terus bertambah dikarenakan produksi ban kendaraan setiap tahun meningkat. Dewan Karet Indonesia (2012) menginformasikan bahwa produksi ban mobil di Indonesia tahun 2010 dan 2011 mencapai

14,4 dan 15,4 ton/hari [1]. Jumlah yang demikian besar tersebut berpotensi menimbulkan limbah ban bekas yang dapat berdampak buruk pada lingkungan. Ban sendiri sampai saat ini merupakan bagian terpenting dari kendaraan baik kendaraan bermotor seperti mobil maupun

motor dan kendaraan tidak bermotor seperti sepeda [2]. Ban memiliki bahan dasar karet yang merupakan salah satu jenis polimer sintetis.

Penumpukan limbah ban bekas dapat menjadikan sarang nyamuk dan sumber penyakit. Pembuangan ban bekas di landfill (tempat pembuangan) akan menjadikan masalah besar, karena ban bekas yang dibuang akan memenuhi ruang di tempat pembuangan tersebut. Selama ini limbah ban bekas digunakan oleh pengrajin tali, kursi, pot, keset, bahan bakar industri dan lain-lain, sedangkan proses pembaruan telapak ban banyak menghasilkan parutan ban [3]. Salah satu cara untuk menangani limbah ban bekas yang memiliki nilai tambah adalah mendegradasi secara panas (*thermal*) melalui proses pirolisis. Pada dasarnya proses pirolisis adalah proses perusakan (*destruction process*) pada suatu bahan (*mass*) dengan menggunakan panas (*thermal*) yang dilakukan dalam keadaan tanpa oksigen atau minim oksigen, dengan kata lain proses degradasi thermal dengan sedikit atau tanpa oksigen [4]. Produk yang dihasilkan berupa arang, hidrocarbon cair, tar dan gas. Parameter yang berpengaruh pada kecepatan reaksi pirolisis mempunyai hubungan yang sangat kompleks, sehingga model matematis persamaan kecepatan reaksi pirolisis yang diformulasikan oleh setiap peneliti selalu menunjukkan rumusan empiris yang berbeda [5]. Berdasarkan uraian di atas, maka dilakukan penelitian mengenai pengaruh temperatur dan waktu terhadap proses pirolisis pada ban bekas dengan katalis.

Pyrolisis didefinisikan sebagai degradasi termal dari bahan bakar padat pada kondisi udara/oksigen terbatas, dimana proses ini akan menghasilkan char (cairan) dan gas. Pengolahan ban bekas dengan pirolisis juga akan dihasilkan gas, dan produk utama berupa syncrude oil seperti pada pengolahan plastik dan black carbon. Dalam proses pyrolisis ban bekas perbandingan prosentasi ketiga produk tersebut sangat bergantung pada beberapa kondisi operasi, diantaranya adalah besarnya laju pemanasan, temperatur akhir proses pirolisis, lama penghandelan temperatur akhir, tekanan kerja dan ada tidaknya katalis.

Pengaruh suhu terhadap proses pyrolisis dapat dinyatakan dengan persamaan Arhenius sebagai berikut [6].

$$k = k_0 \cdot E - (E/RT) \quad (1)$$

dengan:

k = Konstanta dekomposisi termal

k_0 = Faktor tumbukan (faktor frekuensi)

E = Energi aktivasi (kal/gr.mol)

T = Suhu absolute (K)

R = Tetapan gas (1,987 kal/gr.mol.K)

Dari persamaan di atas dapat diketahui bahwa suhu makin tinggi nilainya konstanta dekomposisi termal makin besar akibatnya laju pirolisis bertambah dan konversi naik. Pada proses pirolisis suhu rendah (<700) dimulai pada suhu antara 225-275 °C [7]. Untuk itu, variasi percobaan agar reaksi pirolisis benar-benar telah terjadi maka diambil kisaran suhu yang perlu dipelajari, yaitu 300-500 °C.

2. Metode

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen nyata dengan bahan berikut.

2.1. Ban Bekas

Ban bekas dipotong menjadi bentuk persegi 1 cm x 1 cm. Tampilan fotografi potongan ban bekas disajikan pada Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Bahan baku pyrolisis

2.2. Zeolite Alam

Katalis mempercepat reaksi kimia namun tetap tidak berubah menjelang akhir proses. Katalis banyak digunakan di industri dan penelitian untuk mengoptimalkan distribusi produk dan meningkatkan selektivitas produk.

Oleh karena itu, degradasi katalitik sangat menarik untuk mendapatkan produk dengan kepentingan komersial yang besar seperti bahan bakar otomotif (diesel dan bensin) dan olefin C₂-C₄, yang memiliki permintaan besar dalam industri petrokimia [1].

Katalis adalah suatu zat yang dapat meningkatkan laju reaksi dan setelah reaksi selesai, terbentuk kembali dalam kondisi tetap (Gambar 2). Katalis ikut terlibat dalam reaksi

memberikan mekanisme baru dengan energi pengaktifan yang lebih mudah dibandingkan reaksi tanpa katalis. Katalis yang digunakan untuk pekerjaan ini adalah zeolit alam yang diperoleh dari Klaten. Zeolit tersebut digerus lalu diayak dengan menggunakan pengayak 250 mesh. Zeolit hasil ayakan dicuci menggunakan hasil suling kemudian dikeringkan pada temperatur 120°C.



Gambar 2. Katalis powder alam: (a) Proses pengayakan katalis dan (b) Serbuk katalis

Kandungan utama zeolit alam yang digunakan pada penelitian ini adalah silikon, aluminium, dan oksigen. Adapun kandungan kimia lain yang terkandung pada zeolit yang digunakan pada penelitian ini, dapat dilihat dari Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Kandungan komposisi kimia zeolit

Unsur Kimia	Kandungan unsur (%)
SiO ₂	64,55
Al ₂ O ₃	12,83
Na ₂ O	0,33
CaO	1,64
Fe ₂ O ₃	1,38
MgO	0,71
TiO ₂	0,22
K ₂ O	2,81
Hilang terbakar	15,18

2.3. Set-up Temperatur dan Waktu Reaksi

Temperatur pirolisis berada antara 300°C – 650 °C. Temperatur ini akan menentukan tingkat dekomposisi material sampah, waktu tinggal dalam reaktor, dan hasil pirolisis. Laju dekomposisi dan kerusakan struktur penyusun

material meningkat dengan meningkatnya temperatur reaksi pirolisis [1]. Jika temperatur reaksi terlalu tinggi melebihi temperatur pirolisis, tingkat dekomposisi sangat reaktif yang mengakibatkan komponen penyusun material akan banyak dikonversikan ke dalam bentuk gas dan liquid. Konsekuensinya, produk padatan hasil pirolisis menjadi berkurang dengan waktu tinggal dalam reaktor yang lebih singkat.

Waktu Reaksi berkaitan dengan lamanya waktu tahan material dalam reaktor. Variabel ini akan mempengaruhi proses depolimerisasi, dekomposisi, dan karbonisasi selama proses pirolisis berlangsung. Jika waktu tinggal cukup lama, proses pirolisis akan sempurna untuk mengkonversikan bahan baku menjadi gas dan liquid. Lamanya waktu tinggal proses pirolisis pada dasarnya disesuaikan dengan material bahan baku yang digunakan dan setiap bahan baku mempunyai waktu tinggal yang proporsional [8].

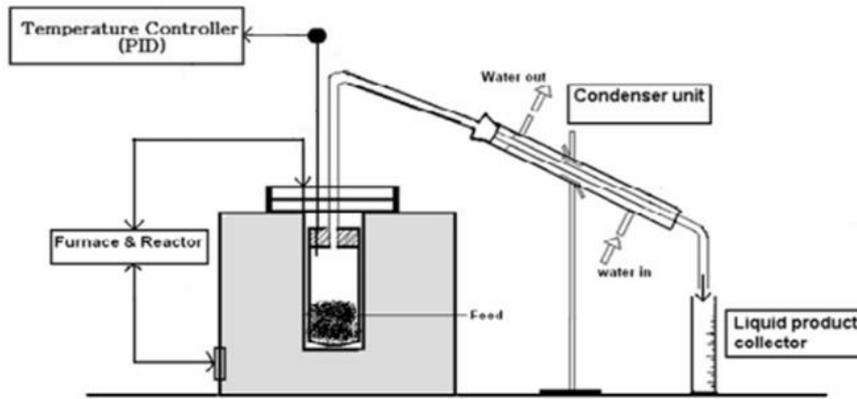
2.4. Ukuran Partikel Sampah

Ukuran partikel memberikan pengaruh pada luas permukaan kontak perpindahan panas antara material dan sumber panas selama proses

dekomposisi termal. Semakin kecil ukuran partikel, permukaan perpindahan panas semakin luas dan akan meningkatkan laju perpindahan panas ke permukaan material. Dalam penelitian ini menggunakan ban bekas dipotong-potong dengan ukuran 1 cm x 1 cm seperti disajikan pada Gambar 1.

2.5. Set-up Penelitian

Penelitian ini menggunakan jenis *simple pyrolysis* dengan susunan peralatan yang terdiri dari furnace dan reactor, temperature controller, condenser, dan collector seperti tersaji pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Set-up penelitian

Furnace dan reaktor terbuat dari baja tahan karat dan ditutup dengan pemanas listrik. Diameter dalam pirokleser dan tinggi masing-masing adalah 200 mm dan 400 mm. Diameter dan tinggi tengah reformer masing-masing adalah 100 mm dan 400 mm. Kondensor tipe shell dan tube dipasang di outlet pembaharu untuk memisahkan produk gas dan cairan. Dalam percobaan ini, 2,5 –

4 kg bahan baku dimasukkan ke dalam reaktor pirolisa. Reaktor kemudian dipanaskan sampai suhu yang ditentukan sebelumnya.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian pyrolysis pada berbagai perlakuan dalam penelitian ini tersaji pada Tabel 2 berikut.

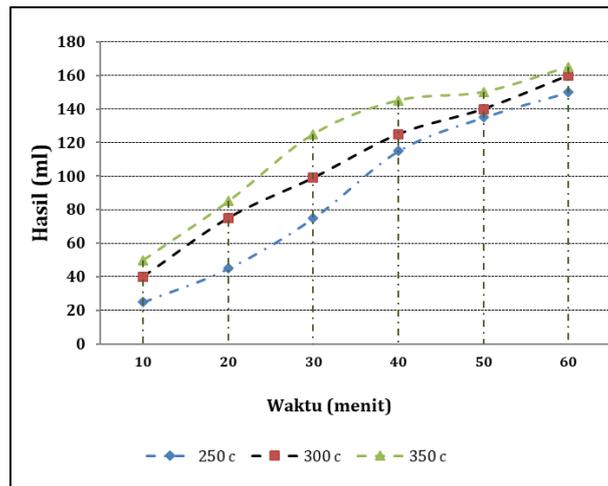
Tabel 2. Data hasil pengujian berdasarkan variasi temperatur

Bahan	Variabel Pengamatan	Temperatur (°C)		
		250	300	350
Ban Bekas	Suhu Kompor (°C)	401	492	525
	Suhu Air (°C)	25	25	25
	Suhu Kondensor (°C)	26	26	26
	Suhu out Kondensor (°C)	26	27	27
	Suhu Out Reaktor (°C)	29	36	53
	Jumlah Cairan (ml)	160	175	190
	Suhu Cairan (°C C)	25	26	25
Ban Bekas dan Katalis	Suhu Kompor (°C)	398	490	528
	Suhu Air (°C)	25	25	25
	Suhu Kondensor (°C)	26	26	26
	Suhu out Kondensor (°C)	25	27	38
	Suhu Out Reaktor (°C)	29	30	50
	Jumlah Cairan (ml)	150	160	165
	Suhu Cairan (°C)	28	30	30

Dari Tabel 2, data hasil pengujian menggunakan bahan ban bekas memperoleh hasil yang lebih sedikit jika dibandingkan dengan hasil yang menggunakan katalis. Pada temperatur 250 °C jumlah cairan dari bahan ban bekas memperoleh cairan sebanyak 160 ml sedangkan cairan dari bahan dari ban bekas yang ditambah dengan katalis hasil yang diperoleh sebanyak 250 ml. Pada temperatur 300 °C bahan dari ban bekas memperoleh hasil sebanyak 175 ml dan bahan yang ditambah katalis memperoleh hasil cair sebanyak 255 ml. Pada variasi temperatur 350 °C hasil dari pirolisis dengan bahan ban bekas memperoleh hasil sebanyak 190 ml sedangkan

bahan ban bekas yang ditambah dengan katalis diperoleh hasil sebanyak 285 ml. Jumlah cairan yang menggunakan katalis cenderung menghasilkan jumlah cairan yang lebih sedikit jika dibandingkan dengan pirolisis dengan menggunakan bahan dari ban bekas murni.

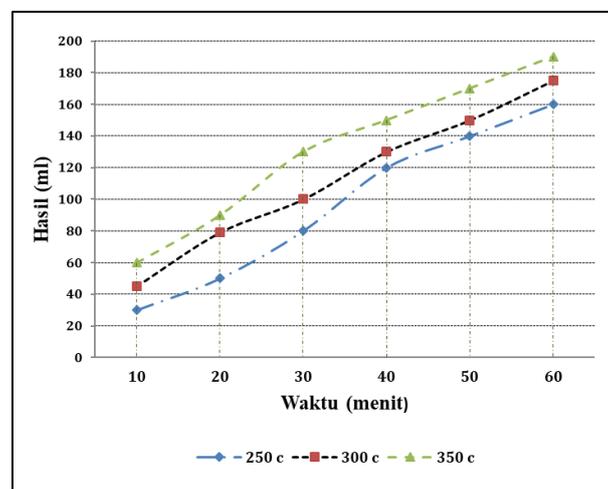
Dari hasil analisis data pada Tabel 2 terlihat jika temperatur berpengaruh terhadap hasil proses pirolisis. Setiap kenaikan temperatur, hasil yang diperoleh juga semakin mengalami kenaikan. Begitu juga dengan hasil produk pirolisis yang menggunakan bahan ban bekas dan katalis semakin tinggi suhu hasil yang dicapai juga semakin banyak. Produk cairan yang diperoleh digambarkan pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Pengaruh tempatur terhadap hasil ban bekas tanpa katalis

Gambar 4 menjelaskan hasil yang diperoleh dari bahan ban bekas murni. Sedangkan Gambar 5 menggambarkan hasil yang diperoleh dari bahan

ban bekas dan katalis yang disajikan sebagai berikut. Sumbu horisontal adalah waktu dan sumbu vertikal adalah produk pirolisis (ml).



Gambar 5. Pengaruh tempatur terhadap hasil ban bekas dengan katalis

Dari Gambar 5 dapat dijelaskan jika temperatur dan waktu berperan penting dalam proses pirolisis yang juga menunjukkan bahwa perbandingan perolehan dari minyak yang dihasilkan dari bahan ban bekas murni dan ban bekas yang dicampur dengan katalis. Material ban bekas yang dicampur dengan katalis menghasilkan minyak yang lebih sedikit hal ini karena secara umum, penggunaan katalis akan menurunkan fraksi minyak dan residu serta meningkatkan fraksi gas jika dibandingkan dengan degradasi termal. Hal ini disebabkan karena fraksi minyak yang dihasilkan dari degradasi termal telah direngkang menggunakan katalis sehingga rantai panjang hidrokarbonnya dipotong menjadi rantai yang lebih pendek. Hal ini berakibat sebagian fraksi minyak dikonversi menjadi gas dengan rantai karbon yang lebih pendek.

Pada suhu 250 °C dari bahan ban bekas murni dan ban bekas yang dicampur dengan katalis kualitas hasil lebih jernih ban bekas murni. Sedangkan hasil minyak dari ban bekas yang dicampur dengan katalis cenderung memiliki endapan. Hasil terbaik minyak hasil pirolisis pada ban bekas murni terdapat pada sampel ke 2 yaitu pada suhu 300 °C karena pada suhu ini merupakan suhu optimal sampah untuk memecahkan partikel penyusunnya. Pada suhu ini minyak yang dihasilkan berwarna kuning jernih. Sedangkan bahan yang menggunakan campuran katalis, hasil terbaik diperoleh pada suhu 250 °C hal ini karena pengaruh katalis. Disini katalis berfungsi mempercepat reaksi kesetimbangan sehingga rantai karbon dari minyak cepat terurai. Pada suhu ini, minyak hasil pirolisis berwarna coklat bening.

Hal ini karena katalis berpengaruh mempercepat reaksi untuk mencapai kesetimbangan. Katalis dalam penerapannya adalah berfungsi untuk mempercepat reaksi dalam mencapai kesetimbangan, setelah reaksi selesai katalis akan berubah kebentuk semula tanpa ikut terkonsumsi [2].

Dari hasil pembahasan mengenai nilai viskositas, densitas dan *flash point* dari sampel bahan ban bekas murni ketiganya mempunyai hasil terbaik pada suhu 300 °C. Hal ini dikarenakan pada suhu 300 °C hasil yang diperoleh merupakan hasil terbaik. Pada suhu 300 °C ini cairan dari bahan ban bekas murni memiliki

warna kuning jernih dan hasil yang encer tanpa adanya endapan. Hal ini disebabkan karena pada suhu ini merupakan suhu optimal untuk sampah ban bekas melepaskan material penyusunnya sehingga hasilnya baik. Sedangkan untuk bahan ban bekas dan katalis memiliki suhu optimum lebih rendah yaitu 250 °C, pada suhu ini partikel penyusun sampah sudah mulai terdekomposisi, karenan adanya katalis, jadi lebih cepat mencapai kesetimbangan. Hasil terbaik dari produk ini terdapat pada suhu 250 °C dengan warna coklat bening, selain itu nilai viskositas, densitas dan flash pointnya juga rendah.

4. Kesimpulan

Dari hasil pengujian limbah ban bekas tanpa dan dengan menggunakan katalis, didapatkan kesimpulan sebagai berikut,

- Hasil terbanyak produk pirolisis (cair) dari bahan ban bekas murni terdapat pada suhu 350 °C sebanyak 190 ml dan pada ban bekas dengan katalis hasil terbanyak pada suhu tertinggi yaitu 350 °C sebanyak 165 ml.
- Temperatur kerja semakin tinggi cenderung menghasilkan produk pirolisis yang semakin banyak tiap satuan waktu yang sama.
- Penambahan katalis pada proses pyrolysis cenderung menurunkan volume hasil, namun memperbaiki kemurnian bahan bakar minyak.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada DR. Sulistiono., M.Si. selaku Rektor Universitas Nusantara PGRI Kediri atas dukungan finansial. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada DR. Deendarlianto, S.T.,M.Eng. dari Universitas Gadjah Mada atas diskusi dan kontribusi yang berharga.

Referensi

- [1] Nuryosuwito, S. Soeparman, W. Wijayanti, and M. Sasongko, "Pengaruh Campuran Sampah Plastik dengan Katalis Alam terhadap Hasil Produk Pyrolisis," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 9, no. 2, pp. 85–91, 2018.

- [2] T. Muji, A. Setiawan, and G. Pamungkas, "Pembuatan Karbon Aktif dari Hasil Pirolisis Ban Bekas," *Eksergi*, vol. 15, no. 2, pp. 54–58, 2018.
- [3] Y. C. Wirasadewa, T. Taufikurohmah, R. I. Sugatri, and E. Y. Muslih, "Identifikasi Limbah Serbuk Industri Ban," *UNESA J. Chem.*, vol. 6, no. 3, pp. 127–130, 2017.
- [4] I. A. Saputra and Arijanto, "Pengujian alat konversi ban bekas menjadi bahan bakar," *J. Tek. Mesin S-1*, vol. 5, no. 2, pp. 82–90, 2017.
- [5] J. Kluska, M. Ochnio, D. Kardaś, and Ł. Heda, "The influence of temperature on the physicochemical properties of products of pyrolysis of leather-tannery waste," *Waste Manag.*, vol. 88, pp. 248–256, 2019.
- [6] S. Liu *et al.*, "Rubber pyrolysis: Kinetic modeling and vulcanization effects," *Energy*, vol. 155, pp. 215–225, 2018.
- [7] E. E. Kwon, S. Kim, and J. Lee, "Pyrolysis of waste feedstocks in CO₂ for effective energy recovery and waste treatment," *J. CO₂ Util.*, vol. 31, no. March, pp. 173–180, 2019.
- [8] A. S. Reshad, P. Tiwari, and V. V. Goud, "Thermal and co-pyrolysis of rubber seed cake with waste polystyrene for bio-oil production," *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, no. October 2018, pp. 1–11, 2019.