

Review: Karakteristik Bahan Bakar Cair dari Ban Bekas melalui Proses Pirolisis dengan Penambahan Katalis

Putry Ayu Auliasari^{1*}, Siti Jamilatun¹, Martomo Setyawan¹, Budi Setya Wardhana¹, Firda Rizki Rhomadoni¹, Nurmustaqimah¹

¹Departemen Magister Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Ahmad Dahlan, Jl. Jend. Ahmad Yani, Banguntapan, Bantul, 55166, Indonesia

*Corresponding Author: 2407054009@webmail.uad.ac.id

ABSTRAK

Dengan bertambahnya pertumbuhan manusia maka dari itu akan bertambahnya juga jumlah sampah yang ada di dunia. Penambahan tersebut meningkat jumlah pemakaian kendaraan dan mengakibatkan bertambahnya jumlah limbah ban yang ada, khususnya yang ada di Indonesia. Dari hal tersebut kita harus memperhatikan pengelolaan limbah ban di Indonesia. Salah satu cara yang bisa digunakan yaitu dengan mengkonversinya menjadi energi dengan menggunakan proses pirolisis. Energi diperlukan untuk kelangsungan hidup manusia, ketergantungan pada bahan bakar fosil yang tidak dapat diperbaharui meningkatkan kemungkinan terjadinya krisis energi di masa depan. Cadangan energi Indonesia semakin menipis, sementara kebutuhan energi negara ini meningkat rata-rata 5,2% per tahun. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan sumber energi alternatif, salah satunya adalah limbah padat seperti ban bekas. Melalui proses yang disebut pirolisis, kandungan kimiawi ban bekas dapat diubah menjadi bahan bakar cair. Pirolisis adalah proses pemanasan termal yang menghasilkan bahan bakar cair, gas, dan arang di lingkungan dengan oksigen terbatas. Teknologi pirolisis tidak hanya berkontribusi pada masalah lingkungan tetapi juga pada aspek ekonomi melalui pengolahan limbah ban menjadi bahan bakar cair sebagai bahan bakar alternatif. Studi ini mengkaji sejumlah penelitian tentang penggunaan ban bekas untuk menghasilkan bahan bakar cair dengan cara pirolisis, baik dengan maupun tanpa katalis untuk meningkatkan hasil. Dari perbandingan dari berbagai literatur didapatkan bahwa hasil dari pirolisis ban bekas menjadi bahan bakar cair yang paling optimum yaitu dipengaruhi oleh faktor-faktor dengan contoh yaitu faktor suhu, faktor waktu dan penambahan katalis.

Kata kunci: Bahan bakar cair; Ban bekas; Energi; Katalis; Pirolisis.

ABSTRACT

With the increase in human growth, there will also be an increase in the amount of waste in the world. The increase in the number of vehicles and the resulting increase in the number of waste tires, especially in Indonesia. One way that can be used is to convert it into energy using the pyrolysis process. Energy is necessary for human survival, dependence on non-renewable fossil fuels increases the likelihood of a future energy crisis. Indonesia's energy reserves are dwindling, while the country's energy demand is increasing by an average of 5.2% per year. Therefore, it is necessary to develop alternative energy sources, one of which is solid waste such as used tires. Through a process called pyrolysis, the chemical content of used tires can be converted into liquid fuel. Pyrolysis is a thermal heating process that produces liquid fuels, gases, and charcoal in an environment with limited oxygen. Pyrolysis technology not only contributes to environmental issues but also to economic aspects through processing waste tires into liquid fuel as an alternative fuel. This study reviews a number of studies on the use of used tires to produce liquid fuels by pyrolysis, both with and without catalysts to increase yields. From the comparison of various literature, it is found that the results of pyrolysis of used tires into liquid fuel are the most optimum, which is influenced by factors such as temperature factor, time factor and catalyst addition.

Keywords: *Liquid fuel; Scrap tyre; Energy; Catalyst; Pyrolysis.*

1. PENDAHULUAN

Di Indonesia, konsumsi energi di berbagai sektor seperti transportasi, industri dan listrik untuk rumah tangga mengalami peningkatan dengan pertumbuhan rata-rata sebesar 5,2% per tahun, sedangkan cadangan energi nasional yang semakin berkurang menimbulkan kekhawatiran akan terjadinya krisis energi di masa depan jika tidak ditemukan sumber energi baru. Ada banyak usaha yang sudah dilakukan oleh pemerintah guna mengatasi krisis energi yang ada di Indonesia. Salah satunya dengan mengembangkan sumber daya energi terbarukan dengan mengembangkan bahan bakar yang terbarukan contohnya nuklir, hidrogen, dan lain-lain. Namun, pada penelitian yang terdahulu banyak dilakukan pengemabangan yang hanya bersumber dari bahan pertambangan, nabati dan nuklir. Padahal jika dikembangkan lebih banyak lagi masih sangat banyak sumber yang potensinya sangat besar yang bisa digunakan sebagai sumber energi baru, sebagai contohnya adalah sampah dan limbah (Idris et al., 2024). yang potensinya cukup besar sebagai sumber energi baru. Salah satunya adalah limbah atau sampah.

Kebutuhan yang sangat penting bagi manusia salah satunya adalah energi. Di Indonesia energi yang digunakan masih sangat didominasi oleh bahan bakar fosil, yang ketersediaannya bahan bakar fosil akan habis kapanpun itu, contohnya adalah batu bara, gas alam dan minyak bumi (Kholidah, Faizal, & Said, 2018).

Transportasi adalah perkembangan teknologi yang menjadi pendukung perkembangan di setiap negara, tanpa terkecuali negara kita sendiri yang merupakan negara berkembang. Pengadaan transportasi serta sarana dan prasarana di darat yaitu jalan raya yang sangat penting dan dibutuhkan. Untuk menunjang kemajuan bangsa. Jalan raya adalah suatu hal yang sangat berpengaruh dan mempunyai peranan penting bagi kehidupan. Sebab, pemeliharaan dan pembangunan harus maksimal dalam pengerjaan dan sungguh diperhatikan. Karena masih banyak ditemukan jalan yang tidak memenuhi syarat dan rusak karena tidak mampu menahan beban bahkan tidak mampu menahan cuaca,

Sampah adalah bentuk limbah yang tidak bermanfaat dan sudah tidak ada nilai manfaatnya. Di Indonesia sampah menjadi masalah yang sangat serius yang membutuhkan penanganan yang khusus. Sebab sampah yang dibiarkan dan tidak diolah akan menyebabkan efek di lingkungan yang bisa menimbulkan bencana. Karena itu, sampah menjadi permasalahan yang sangat serius dan menjadi persoalan yang rumit dan akan menjadi masalah yang serius. Jadi, masyarakat diharapkan untuk terus menjaga kebersihan lingkungan dan dengan aturan pemerintah yang diharapkan terus berkelanjutan memerangi sampah (Gumelar et al., 2024).

Ban bekas merupakan limbah yang terutama diproduksi di negara berkembang, khususnya di Indonesia. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya jumlah pengguna kendaraan pribadi setiap tahunnya. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik tahun 2019, penggunaan karet khususnya untuk kendaraan yang paling banyak digunakan yaitu sepeda motor dan mobil sebanyak 811.136 buah per unit, dengan rincian pelayanan yaitu 34.086 ban sepeda motor per unit, 159.018 ban sepeda motor per unit, dan ban luar untuk mobil sebanyak 618.032 buah per unit (Irsan B & Assiddiq S., 2022).

Menurut Puspitasari et al., (2022) ban bekas hanya dibuat satu kali sehingga tidak dapat terurai dengan mudah (membutuhkan waktu yang cukup lama, bahkan bisa sampai satu tahun) tanpa tindakan khusus. Dari berbagai banyak cara yang bisa dilakukan untuk mengurangi sampah, pemilihan dengan metode pirolisis cukup maksimal dalam pengurangan sampah dan dapat digunakan untuk mengurangi limbah ban. Proses yang dapat digunakan untuk meminimalisir limbah ban bekas adalah dengan mengubah limbah ban bekas menjadi bahan bakar sebagai alternatif untuk menyelesaikan masalah terkait energi dan lingkungan. Beberapa metode dapat digunakan untuk menguraikan limbah

ban bekas menjadi bahan bakar, salah satunya adalah proses pirolisis untuk mengubah limbah ban bekas menjadi minyak (Irsan B & Assiddiq S., 2022).

Tabel 1. Kandungan Kimia Karet Ban Kendaraan Bermotor

No	Jenis Pemeriksaan	Hasil
1	Kadar Karet Alam	25%
2	Kadar Karet Butadien	12%
3	Kadar Butil Karet	5%
4	Kadar Karbon Hitam	35%
5	Kadar ZnO	4%
6	Kadar Oil/Naften/Aromatic	4%
7	Kadar Kotoran/Debu/Kaolin/Kalsium	12%

Dari data diatas menyajikan data kandungan kimia pada karet ban kendaraan bermotor. Karet alam memiliki proporsi sebesar 25%, yang menunjukkan bahwa bahan ini merupakan salah satu komponen utama dalam pembuatan ban. Karet alam berperan penting karena sifat elastisitas dan fleksibilitasnya yang tinggi, memberikan kontribusi besar terhadap performa ban. Selain karet alam, karet butadiena memiliki kandungan sebesar 12%. Sebagai karet sintetis, bahan ini memberikan daya tahan yang lebih baik terhadap suhu ekstrem dan aus, sehingga mendukung ketahanan ban dalam berbagai kondisi. Butil karet, dengan kandungan 5%, digunakan untuk meningkatkan ketahanan terhadap difusi udara, yang membantu menjaga tekanan udara di dalam ban lebih lama.

Karbon hitam merupakan komponen dominan dengan proporsi terbesar, yaitu 35%. Fungsi utamanya adalah sebagai penguat struktur karet, sehingga ban menjadi lebih kuat dan tahan terhadap abrasi. Komponen lain seperti *zinc oxide* (ZnO) yang memiliki kandungan 4% berfungsi sebagai aktivator dalam proses vulkanisasi, yang meningkatkan elastisitas dan ketahanan karet terhadap kerusakan. Kandungan oil/naften/aromatik sebesar 4% berperan sebagai pelunak untuk meningkatkan fleksibilitas dan daya tahan ban terhadap berbagai kondisi lingkungan. Sementara itu, kadar kotoran, debu, kaolin, dan kalsium sebesar 12% mencerminkan bahan pengisi (*filler*) yang digunakan untuk mengurangi biaya produksi serta memberikan stabilitas dimensi pada ban. Secara keseluruhan, komposisi kimia pada ban dirancang untuk memberikan keseimbangan antara elastisitas, kekuatan mekanik, ketahanan terhadap suhu, dan umur panjang. Kombinasi antara karet alam, karet sintetis, karbon hitam, dan bahan tambahan lainnya memastikan performa optimal ban sesuai dengan kebutuhan kendaraan bermotor.

Proses yang menjadikan suatu bahan yang sudah menjadi bahas bekas dengan tujuan meminimalisir jumlah sampah yang menjadi hal yang lebih berguna disebut dengan daur ulang., Daur ulang juga dapat mengurangi penggunaan bahan baku yang baru, mengurangi penggunaan energi, mengurangi polusi, kerusakan lahan, dan dapat mengurangi emisi gas rumah kaca jika dibandingkan dengan proses pembuatan barang baru. Daur ulang juga bisa disebut salah satu strategi pengelolaan sampah padat yang terdiri atas kegiatan pemilahan, pengumpulan, pemrosesan, pendistribusian dan pembuatan produk atau material bekas pakai, dan komponen utama (Gumelar et al., 2024).

Pirolisis limbah ban telah berkembang sebagai alternatif yang layak untuk mengatasi praktik pembuangan limbah ban yang tidak tepat. Pirolisis dapat menjadi alternatif sebagai metode yang lebih baik untuk mendaur ulang limbah ban, pirolisis akan menguraikan bahan yang mudah menguap dalam limbah ban secara termal menjadi produk cair atau gas. Teknologi pirolisis tidak hanya berkontribusi

pada masalah lingkungan tetapi juga pada aspek ekonomi melalui pengolahan limbah ban menjadi bahan bakar cair sebagai bahan bakar alternatif. Limbah ban tersebut berpotensi menjadi bioenergi orde ketiga setelah kelapa sawit dan kelapa

Selain itu, Pirolisis ban adalah proses di mana bahan organik dalam limbah ban dipanaskan hingga suhu antara 300-900°C tanpa adanya udara. Dalam proses ini, ada dua tahap proses yaitu pirolisis primer di mana dekomposisi limbah ban (bahan baku), dan pirolisis sekunder adalah retak gas volatil yang dihasilkan dari pirolisis primer. Hasil dan komposisi produk pirolisis dari pirolisis tergantung pada sifat fisik-kimia input ban bekas, suhu, jenis reaktor pirolisis, laju pemanasan, dan waktu pirolisis (Suhartono et al., 2022).

Teknik pirolisis menunjukkan potensi yang signifikan untuk berbagai aplikasi industri di masa depan, terutama karena kombinasi antara kinerja dan biaya yang menguntungkan. Keberhasilan metode ini sangat bergantung pada interaksi sinergis yang terjadi antara berbagai bahan selama proses pirolisis. Penelitian telah mengungkapkan bahwa penambahan limbah ban ke dalam campuran biomassa dapat secara substansial meningkatkan hasil minyak yang dihasilkan. Selain itu, peningkatan proporsi ban dalam proses pirolisis biomassa juga berkontribusi pada peningkatan nilai kalor minyak yang dihasilkan. Dengan demikian, co-pirolisis menawarkan solusi untuk meningkatkan kualitas minyak yang dihasilkan dari biomassa, yang sering kali memiliki nilai kalor rendah (Babajo, Enaburekhan, & Rufai, 2019) (Babajo et al., 2019).

Tujuan yaitu mengetahui apakah ban bekas mampu menjadi bahan bakar cair dengan poses katalis dengan perbandingan penambahan katalis dan tanpa penambahan katalis. Daur ulang ban bekas dapat mengurangi jumlah limbah yang masuk ke tempat pembuangan sampah, serta mengurangi dampak negatifnya terhadap lingkungan. Proses daur ulang juga dapat menciptakan peluang ekonomi baru, seperti produksi bahan baku untuk pembuatan barang-barang baru atau energi alternatif. Namun, tantangan utama dalam mendaur ulang ban bekas adalah teknologi yang tepat dan biaya yang terkait dengan pengumpulan, pengangkutan, dan pemrosesan limbah.

2. KONVERSI BAN BEKAS MENJADI ENERGI DENGAN PROSES PIROLISIS

2.1 Ban Bekas

Ban bekas terdiri dari komponen-komponen kimia yang menjadikannya bahan potensial untuk konversi energi melalui pirolisis. Struktur material ban biasanya tersusun atas karet alami dan sintetis, karbon hitam, minyak, serta bahan tambahan anorganik. Karet alam (isoprena) dan sintetis (seperti butadiena dan stirena-butadiena) berfungsi memberikan elastisitas dan ketahanan terhadap abrasi, sedangkan karbon hitam digunakan sebagai penguat struktur ban. Bahan-bahan ini kaya akan karbon, sehingga ideal untuk menghasilkan bahan bakar cair saat diolah dengan pirolisis. Selain itu, proses pirolisis ban bekas dapat memecah komponen ini menjadi senyawa-senyawa hidrokarbon yang bernilai energi tinggi. Pirolisis ban bekas menghasilkan berbagai produk, termasuk bahan bakar cair dan gas, melalui pemanasan dalam kondisi anaerob. Selama pirolisis, rantai utama polimer karet mengalami degradasi menjadi monomer atau dimonomer yang lebih sederhana. Penggunaan pirolisis secara efektif menangani masalah lingkungan akibat akumulasi ban, mengurangi polusi udara dan pencemaran tanah akibat pembakaran atau penumpukan di TPA. Hasil pirolisis juga dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif atau bahan kimia dasar untuk berbagai aplikasi industri (Lopez et al., 2017).

Ban bekas terutama terdiri dari karet, karbon hitam, dan berbagai aditif organik dan anorganik (termasuk plasticizer, agen anti-penuaan, belerang dan seng oksida, dll.). Ada NR (20–25%), karet styrene butadiene (SBR) (30–50%), karet butil (BR) (hingga 30%), karbon hitam (30%), belerang (1–2,5%), dan sejumlah kecil aditif organik dan anorganik dalam karet tapak umum di pasaran. Proporsi bahan dalam formula bervariasi terutama tergantung pada tujuan yang akan digunakan (Han, Han, & Chen, 2023).

Ban memiliki beberapa tipe yang berbeda yang dapat dikonversi menjadi energi, yang memiliki karakteristiknya masing-masing. Tipe-tipe ini mencakup ban mobil, ban motor, ban truk, dan ban industri, yang semuanya memiliki komposisi material dan struktur yang berbeda. Perbedaan ini mempengaruhi proses pirolisis dan hasil yang diperoleh. Tipe-tipe ini dapat dilihat pada Tabel 2 di bawah ini,

Tabel 2. Tipe dan karakteristik ban pada proses pirolisis (Vuppaladadiyam et al., 2024).

Aktivitas Pra-pirolisis			Proses Pirolisis		Hasil Pirolisis		
Tipe	Ukuran (mm)	Reaktor	suhu	tekanan	Minyak	arang	Gas
Ban Truk	160	FXB; FBR	430- 500	Inert gas: N ₂	48,5	37,7	13,8
Ban Bekas	-	FXB; FBR	500	Non Katalis	45	42	13
Ban campuran	150	FXB; FBR	550	Gas: N ₂	33	52	15
Ban truk	0,3-0,8	MF; FR	425	Fluidise GasN	58,4	37,9	2,7
Ban motor	2	FXB; FBR	375	Gas: N ₂ , P: Atmospheric	42	50	8

Dari data pada tabel 2. Memberikan informasi tentang aktivitas Pra pirolisis dari beberapa tipe ban contohnya dari ban truk, ban bekas, ban campuran, dan ban motor. Dari tipe ban berikut memiliki ukuran ban yang berbeda-beda dengan reaktor yang digunakan juga berbeda yaitu reaktor FXB atau bisa disebut dengan reaktor *fixed bed* dan reaktor FBR adalah reaktor *fluidized bed* suhu yang digunakan rentan antara suhu 375 sampai 550 menjelaskan, untuk tekanan dari proses pirolisis. Hasil dari data di atas menyatakan bahwa minyak, arang dan gas yang dihasilkan menggunakan tekanan yang berbeda di setiap tipe ban yang digunakan menyatakan bahwa ukuran sangat berpengaruh dengan hasil yang digunakan bahwa ukuran merupakan faktor yang sangat berpengaruh dalam proses pirolisis karena berkaitan langsung dengan tekanan yang digunakan.

2.2 Pirolisis

Pirolisis didefinisikan sebagai degradasi termal dari bahan bakar padat dalam kondisi udara/oksigen terbatas, di mana proses ini akan menghasilkan gas dan arang (cairan) (Jamilatun et al., 2022). Pengolahan Pirolisis dan ban bekas juga akan menghasilkan gas, dan produk utamanya adalah minyak mentah. Seperti halnya pada kasus plastik dan karbon hitam Manfaat dari metode pirolisis untuk ban bekas pembakaran adalah metode ini beroperasi tanpa membutuhkan udara atau campuran hidrogen dan tidak memerlukan tekanan seperti perengkahan hidrolik (Surono, 2013).

Ada tiga tahap dalam proses pembakaran pirolisis: tahap pengeringan, yang berlangsung pada suhu 200°C; tahap pirolisis, yang berlangsung pada suhu 200°C hingga 500°C; dan tahap evolusi gas, yang berlangsung pada suhu 500°C hingga 200°C. Baik gas, yang sebagian mengembun, maupun padatan yang tidak bereaksi dan tetap berada di dalam reaktor merupakan produk sampingan dari pirolisis. Jumlah bahan bakar cair yang dihasilkan akan bergantung pada berapa lama proses pirolisis berlangsung; semakin lama waktu pirolisis, semakin banyak katalis yang dibutuhkan. Yield bahan bakar cair meningkat seiring dengan jumlah katalis yang digunakan (Puspitasari et al., 2022).

Tabel 3. Hasil pirolisis ban bekas menjadi bahan bakar cair

No	Bahan	Suhu (°C)	Katalis (Jenis Katalis)	Waktu (Jam)	Hasil (ml)	Referensi
1	Ban Bekas	250	Non Katalis	1	160	
2	Ban Bekas	300	Non Katalis	1	175	(Supriyant
3	Ban Bekas	350	Non Katalis	1	190	o, Ismanto,
4	Ban Bekas	250	Katalis	1	150	& Suwito,
5	Ban Bekas	300	Katalis	1	160	2019)
6	Ban Bekas	350	Katalis	1	165	
7	Ban Bekas	400	Katalis	3	604,85	(Muis,
8	Ban Bekas	400	Katalis	3	1080,85	Prabasari,
9	Ban Bekas	400	Katalis	3	1232,19	& Suyana, 2019)
10	Ban Bekas	400	Katalis	2	50	(Roni,
11	Ban Bekas	400	Katalis	3	71	Handono,
12	Ban Bekas	400	Non Katalis	2	64,71	&
13	Ban Bekas	400	Non Katalis	3	91,89	Mufrodi, 2020)
14	Ban Bekas	150-300	Katalis	0,33	20,1	
15	Ban Bekas	150-300	Katalis	0,66	22,6	(Kholidah
16	Ban Bekas	150-300	Katalis	1	24,4	et al.,
17	Ban Bekas	150-300	Non Katalis	0,33	43,7	2018)
18	Ban Bekas	150-300	Non Katalis	0,66	46,6	
19	Ban Bekas	150-300	Non Katalis	1	48,8	

Dari data pada tabel 3. menjelaskan bahwa Suhu merupakan faktor yang sangat berpengaruh dalam proses pirolisis karena berkaitan langsung dengan laju dekomposisi termal bahan. Berdasarkan data penelitian, peningkatan suhu umumnya meningkatkan hasil (yield) minyak pirolisis dari ban bekas. Hal ini dapat dijelaskan melalui persamaan Arrhenius, di mana kenaikan suhu meningkatkan nilai konstanta dekomposisi termal, yang pada akhirnya mempercepat laju pirolisis dan mendorong konversi bahan lebih tinggi.

Pada sampel data pirolisis tanpa katalis (data 1-3), kenaikan suhu dari 250°C ke 350°C meningkatkan hasil minyak dari 160 ml menjadi 190 ml. Ini menunjukkan bahwa kenaikan suhu berbanding lurus dengan hasil minyak pada kondisi tanpa katalis.

Suhu optimal yang ditemukan dalam penelitian ini adalah 400°C, yang memberikan yield tertinggi, mencapai 1232,19 ml. Suhu ini dinilai optimal karena mampu mengaktifkan proses pirolisis secara maksimal sehingga menghasilkan produk bahan bakar cair dalam jumlah besar. Suhu 400°C dianggap sebagai titik di mana laju reaksi pirolisis cukup tinggi untuk mendekomposisi komponen ban bekas secara efisien, namun tidak terlalu tinggi hingga menyebabkan dekomposisi lebih lanjut yang dapat mengurangi yield cairan.

Selanjutnya yang mempengaruhi adalah waktu reaksi faktor penting dalam proses pirolisis yang mempengaruhi hasil (yield) bahan bakar cair. Pada proses pirolisis ban bekas, waktu reaksi bervariasi mulai dari 0,33 jam hingga 3 jam. Berdasarkan data yang tersedia, peningkatan waktu reaksi umumnya menghasilkan peningkatan yield, baik pada proses pirolisis dengan maupun tanpa katalis.

Pada kisaran suhu 150-300°C, perpanjangan waktu reaksi dari 0,33 jam menjadi 1 jam menunjukkan peningkatan yield pada pirolisis katalis maupun non-katalis. Hal ini disebabkan oleh

waktu reaksi yang lebih panjang, yang memungkinkan molekul-molekul dalam ban bekas untuk terurai secara lebih lengkap menjadi fraksi minyak cair. Semakin lama material berada dalam kondisi pirolisis, semakin banyak molekul yang mengalami pemutusan ikatan, sehingga konversi bahan ke bentuk cair meningkat.

Namun, perlu diperhatikan bahwa waktu reaksi yang terlalu lama dapat mengurangi efisiensi proses pirolisis dan berpotensi menyebabkan dekomposisi lebih lanjut dari produk cair menjadi gas, yang mengakibatkan penurunan yield bahan bakar cair. Oleh karena itu, waktu reaksi yang optimal, disesuaikan dengan suhu dan jenis katalis, sangat penting untuk memastikan hasil yang maksimal tanpa pemborosan energi.

Penggunaan katalis dalam proses pirolisis memiliki efek bervariasi terhadap hasil bahan bakar cair yang dihasilkan dari ban bekas. Pada kisaran suhu menengah (250-350°C), data menunjukkan bahwa proses pirolisis tanpa katalis justru menghasilkan yield yang sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan proses yang menggunakan katalis. Hal ini dapat disebabkan oleh pengaruh katalis yang kurang optimal pada suhu tersebut, di mana reaksi dekomposisi molekul-molekul dalam ban bekas sudah cukup stabil tanpa perlu percepatan tambahan dari katalis (Gandidi et al., 2017).

Namun, pada suhu yang lebih tinggi (400°C), efek penggunaan katalis menjadi lebih signifikan. Pada suhu ini, penggunaan katalis menghasilkan yield yang sangat tinggi, mencapai 1232,19 ml, jauh melebihi hasil dari pirolisis tanpa katalis pada suhu yang sama. Katalis pada suhu tinggi berfungsi sebagai akselerator reaksi dekomposisi, yang mempercepat pemutusan ikatan hidrokarbon pada material ban, sehingga memperbesar konversi material menjadi fraksi cair.

Peningkatan yield yang dihasilkan oleh katalis pada suhu tinggi menunjukkan bahwa katalis berperan lebih efektif dalam lingkungan yang lebih panas, di mana energi aktivasi reaksi dapat dicapai dengan lebih cepat. Namun, perlu diperhatikan bahwa penggunaan katalis pada suhu tinggi juga menambah biaya dan kompleksitas proses, sehingga pemilihan kondisi operasi harus disesuaikan dengan target yield dan efisiensi yang diinginkan. Secara keseluruhan, penggunaan katalis memberikan hasil yang optimal pada suhu tinggi, terutama 400°C, dengan potensi menghasilkan bahan bakar cair dalam jumlah maksimal, menjadikan katalis sebagai elemen penting dalam optimasi pirolisis ban bekas pada suhu tinggi.

3. FAKTOR YANG MEMPENGARUHI

3.1 Suhu

Data yang ada menunjukkan bahwa peningkatan suhu dari 250°C menjadi 350°C menghasilkan peningkatan hasil dari 160 ml menjadi 190 ml pada proses non-katalis. Hal ini menunjukkan bahwa suhu yang lebih tinggi meningkatkan konversi bahan baku menjadi produk cair. Pada suhu rendah (misalnya 250°C), reaksi pirolisis berlangsung lebih lambat, dan sebagian besar bahan baku mungkin terkonversi menjadi produk gas atau char. Namun, dengan meningkatkan suhu, proses pirolisis menjadi lebih efisien, dan lebih banyak bahan yang terdekomposisi menjadi produk cair. Pada suhu 250°C dan 300°C, hasil yang diperoleh dengan proses non-katalis sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan proses pirolisis yang menggunakan katalis. Ini mungkin disebabkan oleh dua hal: pertama, pada suhu yang lebih rendah, reaksi pirolisis sudah berjalan cukup baik tanpa perlu bantuan katalis, dan kedua, pada suhu ini katalis mungkin belum sepenuhnya aktif dalam mempercepat reaksi (Jamilatun et al., 2023).

Suhu sangat mempengaruhi produk yang dihasilkan karena sesuai dengan persamaan Arrhenius, suhu makin tinggi nilai konstanta dekomposisi termal makin besar akibatnya laju pirolisis bertambah dan konversi naik (Prakash Bamboriya, Singh Thakur, Parmar, Kumar Varma, & Hinge, 2019). Suhu merupakan faktor kunci dalam proses pirolisis, yang mempengaruhi kecepatan reaksi dan konversi bahan baku menjadi produk cair. Data menunjukkan bahwa peningkatan suhu dari 250°C ke 350°C meningkatkan hasil dari 160 ml menjadi 190 ml pada proses non-katalis. Ini menunjukkan bahwa suhu

yang lebih tinggi dapat meningkatkan efisiensi konversi. Pada suhu 250°C dan 300°C, hasil yang diperoleh dengan proses non-katalis sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan proses berkatalis. Namun, pada suhu 400°C, hasil dengan katalis jauh lebih tinggi dibandingkan dengan non-katalis, menunjukkan bahwa pada suhu tinggi, katalis berfungsi secara optimal. Hal ini mengindikasikan bahwa pada suhu rendah, reaksi pirolisis mungkin tidak cukup aktif untuk memanfaatkan potensi katalis, sedangkan pada suhu tinggi, katalis dapat mempercepat reaksi dan meningkatkan konversi. Secara keseluruhan, data menunjukkan bahwa suhu memiliki pengaruh signifikan terhadap hasil pirolisis ban bekas. Suhu yang lebih tinggi, terutama pada 400°C, menunjukkan hasil yang optimal, terutama ketika dikombinasikan dengan penggunaan katalis. Penentuan suhu yang tepat sangat penting untuk memaksimalkan hasil pirolisis dan efisiensi proses secara keseluruhan.

Penting untuk memahami bahwa suhu yang terlalu rendah mungkin tidak cukup untuk memaksimalkan hasil pirolisis, sedangkan suhu yang terlalu tinggi juga bisa menimbulkan efek negatif, seperti pembentukan gas berlebih dan penurunan hasil produk cair. Oleh karena itu, penentuan suhu yang tepat sangat penting untuk mencapai keseimbangan antara efisiensi proses dan hasil yang optimal. Secara keseluruhan, data yang ada menunjukkan bahwa suhu yang lebih tinggi, terutama pada kisaran 400°C, dapat memberikan hasil pirolisis yang lebih baik, terutama bila dikombinasikan dengan penggunaan katalis. Namun, suhu yang tepat harus disesuaikan dengan tujuan proses dan sifat bahan baku untuk memastikan efisiensi konversi yang maksimal dan menghasilkan produk yang diinginkan (Jamilatun & Setyawan., 2012).

3.2 Waktu

Berdasarkan data yang disajikan, pengaruh waktu terhadap hasil pirolisis ban bekas dapat dianalisis sebagai berikut: Data menunjukkan variasi waktu reaksi dari 0,33 jam hingga 3 jam. Waktu reaksi yang lebih lama umumnya memberikan kesempatan lebih banyak bagi proses pirolisis untuk berlangsung, yang dapat berkontribusi terhadap peningkatan hasil. Hasil dari berbagai waktu pada suhu 150-300°C.

Waktu reaksi adalah salah satu parameter yang sangat berpengaruh terhadap hasil pirolisis. Secara umum, waktu yang lebih lama memberikan kesempatan lebih banyak bagi proses pirolisis untuk berjalan lebih jauh, memungkinkan konversi yang lebih lengkap dari bahan baku menjadi produk pirolisis. Ada suhu tertentu (misalnya, 150°C hingga 300°C), pirolisis akan terjadi secara bertahap. Dalam fase awal, proses pemecahan besar molekul-molekul polimer seperti karet dalam ban menjadi molekul yang lebih kecil akan terjadi dengan cepat. Namun, jika waktu reaksi terlalu singkat, proses ini tidak akan berlangsung sepenuhnya, sehingga menghasilkan lebih sedikit produk cair (seperti minyak pirolisis) dan lebih banyak produk padat (char). Sebaliknya, dengan memperpanjang waktu reaksi (misalnya, dari 2 jam menjadi 3 jam), lebih banyak molekul besar yang akan terurai dan menghasilkan produk cair yang lebih banyak. Oleh karena itu, dengan waktu yang lebih lama, produk cair (minyak pirolisis) dapat lebih banyak dihasilkan karena konversi bahan baku menjadi senyawa yang lebih kecil dan mudah menguap terjadi lebih efektif (Idris et al., 2024).

Peningkatan waktu dari 2 jam ke 3 jam pada suhu tinggi menunjukkan peningkatan yang sangat signifikan dalam hasil, menunjukkan bahwa waktu yang lebih lama memungkinkan lebih banyak konversi bahan menjadi produk. Secara keseluruhan, data menunjukkan bahwa waktu reaksi yang lebih lama cenderung meningkatkan hasil pirolisis, baik pada suhu rendah maupun tinggi. Ini menunjukkan bahwa waktu adalah faktor penting dalam proses pirolisis, yang dapat mempengaruhi efisiensi konversi bahan baku menjadi produk cair.

Suhu juga berperan penting dalam pirolisis, namun jika kita mempertimbangkan efek waktu secara khusus, kita dapat melihat bahwa pada suhu yang lebih tinggi (misalnya 250°C-300°C), waktu reaksi yang lebih panjang memberikan peluang bagi proses pirolisis untuk menyelesaikan reaksi lebih sepenuhnya, meningkatkan hasil produk cair. Pada suhu rendah (misalnya, 150°C), reaksi cenderung

lebih lambat, dan waktu yang lebih panjang memberikan kesempatan lebih banyak bagi produk untuk terbentuk.

Data menunjukkan bahwa peningkatan waktu reaksi dari 2 jam ke 3 jam pada suhu tinggi (misalnya, 300°C) dapat menghasilkan peningkatan yang signifikan dalam jumlah produk pirolisis. Proses ini memungkinkan lebih banyak bahan baku yang terdekomposisi menjadi produk cair, seperti minyak pirolisis, dibandingkan dengan waktu yang lebih singkat (misalnya, 2 jam atau kurang). Hal ini terjadi karena pada suhu tinggi, reaksi pirolisis berlangsung lebih cepat, dan dengan tambahan waktu, produk yang dihasilkan akan lebih banyak. Namun, jika waktu reaksi melebihi batas tertentu, akan ada penurunan hasil karena produk yang terbentuk akan terus terdekomposisi menjadi gas atau senyawa yang lebih sederhana.

Secara keseluruhan, data menunjukkan bahwa waktu adalah faktor penting dalam proses pirolisis ban bekas. Semakin lama waktu reaksi, semakin banyak bahan yang terkonversi menjadi produk pirolisis, terutama produk cair. Pada suhu tinggi, seperti 250°C hingga 300°C, waktu yang lebih lama memberikan peluang lebih besar untuk menghasilkan lebih banyak minyak pirolisis. Namun, meskipun waktu yang lebih lama cenderung meningkatkan hasil, ada batasan waktu optimal di mana efisiensi konversi akan menurun jika waktu terlalu lama karena dekomposisi produk yang berlebihan.

3.3 Katalis

Beberapa perbandingan hasil katalis dan non-katalis menunjukkan bahwa penggunaan katalis dapat memberikan hasil yang bervariasi tergantung pada suhu dan waktu. Pada suhu 250°C, hasil pirolisis dengan katalis adalah 150 ml, sedangkan tanpa katalis adalah 160 ml. Ini menunjukkan bahwa pada suhu ini, proses non-katalis memberikan hasil yang sedikit lebih baik. Namun, pada suhu yang lebih tinggi (400°C), hasil dengan katalis jauh lebih tinggi, yaitu 1232,19 ml, dibandingkan dengan hasil non-katalis yang hanya mencapai 91,89 ml. Ini menunjukkan bahwa pada suhu tinggi, katalis sangat efektif dalam meningkatkan hasil. Penggunaan katalis pada suhu tinggi (400°C) memberikan hasil yang signifikan, menunjukkan bahwa katalis dapat mempercepat reaksi pirolisis dan meningkatkan konversi bahan baku menjadi produk cair.

Katalis membantu dalam memecah ikatan kimia yang lebih kompleks dalam ban bekas, sehingga memungkinkan lebih banyak bahan organik terkonversi menjadi produk yang diinginkan. Secara keseluruhan, penggunaan katalis dalam proses pirolisis ban bekas menunjukkan potensi untuk meningkatkan hasil, terutama pada suhu tinggi. Namun, pada suhu yang lebih rendah, hasil non-katalis bisa lebih baik, menunjukkan bahwa pemilihan kondisi yang tepat sangat penting dalam proses ini. Dengan demikian, pemilihan dan penggunaan katalis yang tepat sangat berpengaruh terhadap efisiensi dan hasil akhir dari proses pirolisis ban bekas (Inayat et al., 2022).

Katalis adalah substansi yang mempercepat reaksi kimia tanpa mengalami perubahan permanen selama proses. Pada pirolisis, katalis digunakan untuk membantu pemecahan ikatan kimia yang lebih kompleks dalam bahan baku (seperti karet pada ban bekas) menjadi produk yang lebih sederhana, terutama minyak pirolisis. Katalis tidak hanya mempercepat reaksi, tetapi juga mengarahkan reaksi pada jalur yang lebih efisien, menghasilkan lebih banyak produk cair.

4. KESIMPULAN

Pirolisis telah terbukti menjadi metode yang efektif untuk mengolah limbah ban bekas menjadi bahan bakar cair, memberikan solusi terhadap masalah limbah sekaligus mendukung kebutuhan energi alternatif. Teknologi ini mampu mengubah komponen kimia kompleks pada ban bekas menjadi fraksi bahan bakar yang bermanfaat, menjadikannya sebagai pendekatan berkelanjutan dalam mengatasi masalah lingkungan sekaligus memenuhi permintaan energi yang terus meningkat. Dalam proses pirolisis, suhu, waktu reaksi, dan penggunaan katalis menjadi faktor penting yang sangat memengaruhi

hasil akhir. Suhu optimal sebesar 400°C diketahui memberikan hasil bahan bakar cair tertinggi, dengan mekanisme yang meningkatkan laju dekomposisi termal bahan baku. Waktu reaksi yang lebih lama, hingga 3 jam, juga berkontribusi pada peningkatan hasil, meskipun perlu diperhatikan agar tidak terlalu lama sehingga dapat menyebabkan dekomposisi produk cair menjadi gas.

Penggunaan katalis menunjukkan efek yang beragam tergantung pada suhu dan kondisi proses. Pada suhu rendah (250–300°C), hasil tanpa katalis sedikit lebih baik, menunjukkan bahwa katalis kurang optimal pada suhu ini. Namun, pada suhu tinggi (400°C), katalis memainkan peran penting dalam mempercepat reaksi dan meningkatkan hasil bahan bakar cair secara signifikan. Penggunaan katalis pada suhu tinggi memungkinkan pemutusan ikatan kimia yang kompleks dalam ban bekas menjadi lebih efisien, menghasilkan konversi bahan baku yang lebih maksimal. Teknologi pirolisis tidak hanya memberikan manfaat lingkungan dengan mengurangi limbah ban yang terakumulasi, tetapi juga memiliki potensi ekonomi yang signifikan. Hasil pirolisis berupa bahan bakar cair dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif yang mendukung keberlanjutan. Selain itu, optimalisasi parameter proses seperti suhu, waktu, dan penggunaan katalis menawarkan peluang untuk meningkatkan efisiensi proses secara keseluruhan.

Sebagai kesimpulan, pirolisis merupakan teknologi yang menjanjikan dalam pengelolaan limbah ban bekas sekaligus menyediakan solusi energi berkelanjutan. Dengan optimasi lebih lanjut, metode ini memiliki potensi besar untuk diadopsi sebagai solusi utama dalam menghadapi tantangan lingkungan dan energi di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- Babajo, S. A., Enaburekhan, J. S., & Rufai, I. A. (2019). Review On Production Of Liquid Fuel From Co-Pyrolysis Of Biomass With Scrap/Waste Tire. *Journal Of Applied Sciences And Environmental Management*, 23(8), 1475. <https://doi.org/10.4314/Jasem.V23i8.10>
- Gandidi, I. M., Susila, M. D., & Pambudi, N. A. (2017). Production of valuable pyrolytic oils from mixed Municipal Solid Waste (MSW) in Indonesia using non-isothermal and isothermal experimental. *Case Studies in Thermal Engineering*, 10, 357–361. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2017.08.003>
- Gumelar, S., Guru, P., Dasar, S., Purworejo, U. M., & Ketawangrejo, D. D. (2024). 2024 Madani : Jurnal Ilmiah Multidisiplin Pendayagunaan Limbah Ban Bekas Berbasis Steam Menjadi Kursi 2024 Madani : Jurnal Ilmiah Multidisiplin, 2(6), 603–607.
- Han, W., Han, D., & Chen, H. (2023). Pyrolysis Of Waste Tires: A Review. *Polymers*, 15(7). <https://doi.org/10.3390/Polym15071604>
- Idris, M., Setyawan, M., & Mufrodi, Z. (2024). Teknologi Insinerasi Sebagai Solusi Pengolahan Sampah Perkotaan dan Pemulihan Energi: A Review. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi 2024, April*. <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek/article/view/22490/10451>
- Idris, M., Setyawan, M., & Suharto, T. E. (2024). Effect of Flow Rate Ratio of Air and Waste Cooking Oil on Combustion Temperature and Furnace Efficiency. *Eksergi*, 22(1), 25-32.
- Inayat, A., Rocha-Meneses, L., Ghenai, C., Abdallah, M., Shanableh, A., Al-Ali, K., Alghfeli, A., & Alsuwaidi, R. (2022). Co-pyrolysis for bio-oil production via fixed bed reactor using date seeds and plastic waste as biomass. *Case Studies in Thermal Engineering*, 31. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2022.101841>
- Irsan B, M., & Assiddiq S., H. (2022). The Effect Of Operating Temperature On The Yield Of Liquid

- Products In The Pyrolysis Process Of Used Tires Into Fuel Oil. *Chemica: Jurnal Teknik Kimia*, 9(2), 98. <https://doi.org/10.26555/Chemica.V9i2.22309>
- Jamilatun, S., Pitoyo, J., Amelia, S., Ma'arif, A., Hakika, D. C., & Mufandi, I. (2022). Experimental Study on The Characterization of Pyrolysis Products from Bagasse (*Saccharum Officinarum* L.): Bio-oil, Biochar, and Gas Products. *Indonesian Journal of Science & Technology*, 7(3), 565–582. <https://doi.org/10.xxxxx/ijost.vXiX>
- Jamilatun, S., Pitoyo, J., & Setyawan, M. (2023). Technical, Economic, and Environmental Review of Waste to Energy Technologies from Municipal Solid Waste. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 21(3), 581–593. <https://doi.org/10.14710/jil.21.3.581-593>
- Jamilatun, S., & Setyawan, M. (2012). Kondensasi Asap Pirolisis Tempurung Kelapa Menjadi Asap Cair (Liquid Smoke) Berbasis pada Luas Transfer Perpindahan Panas. *Symposium in Industrial Technology*, 25–32.
- Kholidah, N., Faizal, M., & Said, M. (2018). Polystyrene Plastic Waste Conversion Into Liquid Fuel With Catalytic Cracking Process Using Al₂O₃ As Catalyst. *Science And Technology Indonesia*, 3(1), 1–6. <https://doi.org/10.26554/Sti.2018.3.1.1-6>
- Muis, L., Prabasari, I. G., & Suyana, N. (2019). Pengaruh Berat Katalis Zeolit Alam Terhadap Pencairan Limbah Ban Dalam Bekas Kendaraan Bermotor Roda Dua Menjadi Bahan Bakar Cair. *Jurnal Daur Lingkungan*, 2(2), 63. <https://doi.org/10.33087/Daurling.V2i2.29>
- Oktaviastuti, B., Wijaya, H. S., & Indrawan, P. (2018). Pengaruh Penambahan Serbuk Ban Bekas Untuk Bahan Tambah Campuran Atb (Asphalt Treated Base). *Reka Buana : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Dan Teknik Kimia*, 3(1), 16–29.
- Prakash Bamboriya, O., Singh Thakur, L., Parmar, H., Kumar Varma, A., & Hinge, V. K. (2019). A Review On Mechanism And Factors Affecting Pyrolysis Of Biomass. *International Journal Of Research In Advent Technology*, 7(3), 1014–1024. Retrieved From www.ijrat.org
- Puspitasari, E., Jannah, R. M., Sipil, J. T., Teknik, F., Tidar, U., & Utara, M. (2022). Peningkatan Kualitas Bahan Bakar Hasil Pirolisis Limbah Ban Bekas Dengan Penambahan Katalis. In *Prosiding Seminar Nasional Riset Teknologi Terapan: 2022*. (Pp. 1–15). Retrieved From <https://jurnal.untidar.ac.id/index.php/senaster/article/viewfile/5478/2890>
- Roni, K. A., Handono, M. R. T., & Mufrodi, Z. (2020). Pyrolysis Of Used Tires Using Spent Catalyst Of Crude Oil Cracking Process From Pertamina Ru Iii. *Chemica: Jurnal Teknik Kimia*, 7(1), 71. <https://doi.org/10.26555/Chemica.V7i1.15715>
- Suhartono, Harsanti, M., Septiyanti, W., Suharto, & Achmad, F. (2022). Zeolite Catalytic Pyrolysis Of Waste Tire Into Fuel In Gasoline Hydrocarbon Range. *Iop Conference Series: Earth And Environmental Science*, 969(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/969/1/012030>
- Supriyanto, Ismanto, & Suwito, D. N. (2019). Zeolit Alam Sebagai Katalis Pyrolisis Limbah Ban Bekas Menjadi Bahan Bakar Cair: Natural Zeolite As Pyrolisis Catalyst Of Used Tires Into Liquid Fuels. *Automotive Experiences*, 2(1), 15–21. <https://doi.org/10.31603/Ae.V2i1.2377>
- Vuppaladadiyam, S. S. V., Vuppaladadiyam, A. K., Sahoo, A., Urgunde, A., Murugavelh, S., Šrámek, V., Ant, K. K. (2024). Waste To Energy: Trending Key Challenges And Current Technologies

Seminar Nasional Inovasi dan Teknologi (SEMNASINTEK)
Universitas Ahmad Dahlan
Yogyakarta, 27 November 2024

In Waste Plastic Management. *Science Of The Total Environment*, 913(December 2023).
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169436>