

PIROLISIS LAMBAT *OFF-GRADE RUBBER* DENGAN REAKTOR PIROLISIS SEMI-KONTINYU PADA SUHU 200 °C

SLOW PYROLYSIS OF *OFF-GRADE RUBBER* WITH SEMI-CONTINUOUS PYROLYSIS REACTOR AT 200 °C

Mutiara Pertiwi¹, RR Dirgarini Julia Nurlianti Subagyo^{1,*}, Ari Susandy Sanjaya², Mohd. Asyraf Kassim³

¹Laboratorium Kimia Fisik, Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Mulawarman, Samarinda, Indonesia

²Program Studi Teknik Kimia, Universitas Mulawarman, Indonesia

*Corresponding author: dirgarini@fmipa.unmul.ac.id

Diterbitkan: 31 Oktober 2025

ABSTRACT

Off-grade Rubber is a by-product from rubber industries that has potential as a renewable energy raw material. This study aims to determine the results of slow pyrolysis of off-grade rubber at a temperature of 200 °C using a laboratory-scale semi-continuous pyrolysis reactor for 30 minutes. The off-grade rubber had a moisture content of $23.62 \pm 2.26\%$ and an ash content of $11.24 \pm 1.09\%$. The bio-oil yield and the aqueous phase yield at 200 °C were 0.27% and 2.1%, respectively. Chemical compound analysis using Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) showed five dominant compounds, namely glyceroltriethylether, 3,3-dimethyl-1-oxa-3-silacycloheptanone-7, 1-methylethyl heptanoate, 1-methyl-1-ethoxy-1-silacyclopentane, and heptanoic acid, 1-methylethyl ester.

Keywords: *Bio-oil, off-grade Rubber, Slow Pyrolysis*

ABSTRAK

Off-grade Rubber adalah produk sampeng industri karet yang memiliki potensi sebagai bahan baku energi terbarukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil pirolisis lambat pada suhu 200 °C dengan menggunakan reaktor pirolisis semi-kontinyu skala laboratorium. *Off-grade Rubber* memiliki kadar air sebesar $23,62 \pm 2,26\%$ dan kadar abu sebesar $11,24 \pm 1,09\%$. *Yield bio-oil* pada suhu 200 °C sebesar 0,27% sedangkan *yield fase aqueous* pada suhu 200 °C adalah 2,1%. Analisis senyawa kimia menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) menunjukkan lima senyawa dominan, yaitu *glyceroltriethylether*, *3,3-dimethyl-1-oxa-3-silacycloheptanone-7*, *1-methylethyl heptanoate*, *1-methyl-1-ethoxy-1-silacyclopentane*, dan *heptanoic acid, 1-methylethyl ester*.

Kata kunci: *Bio-oil, Off-grade Rubber, Pirolisis lambat*

PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara yang memiliki sumber daya energi melimpah dari berbagai jenis. Saat ini, sumber energi di Indonesia masih banyak berasal dari minyak bumi, gas alam, dan batubara yang merupakan sumber daya yang tidak dapat diperbaharui. Ketergantungan pada jenis energi ini menjadi tantangan signifikan dalam memenuhi kebutuhan energi nasional. Minyak bumi, batubara, dan gas alam menyumbang total sekitar 90,7% dari konsumsi energi pada tahun lalu. Permintaan terhadap energi fosil terus meningkat setiap tahun, sedangkan ketersediaan energi fosil semakin menurun dan tidak dapat diperbaharui. Data dari tahun 2018 menunjukkan bahwa produksi minyak bumi telah berkurang dari 346 juta barel pada tahun 2009 menjadi 283 juta barel. Tingginya permintaan energi berkontribusi pada berkurangnya cadangan devisa negara karena ketergantungan pada impor energi. Oleh karena itu, penting untuk melakukan diversifikasi sumber energi demi memastikan ketersediaan

energi nasional, sehingga perlu adanya peningkatan dalam penggunaan energi baru dan terbarukan [1].

Karet adalah jenis tanaman yang mudah untuk dirawat dan tumbuh subur dalam iklim tropis. Tanaman ini merupakan tanaman tahunan yang mampu menghasilkan sekitar 476 pohon per hektar. Produksi karet dapat berlangsung hingga tanaman berumur antara 25 hingga 30 tahun. Namun, produktivitas karet menurun akibat kurangnya perawatan penting seperti pemupukan dan pengendalian hama yang jarang dilakukan [2].

Bio-oil yang dihasilkan dari proses pirolisis biomassa dianggap sebagai salah satu bahan bakar terbarukan yang paling penting karena ketersediaannya yang luas, biaya yang lebih murah dibandingkan bahan bakar fosil, pengurangan limbah di tempat pembuangan akhir, dan sifat karbon-netralnya [3].

Pirolisis merupakan proses pemecahan zat kimia organik melalui pemanasan yang dilakukan tanpa atau dengan sedikit oksigen atau bahan kimia lainnya. Dalam proses ini, bahan mentah akan terurai menjadi gas akibat perubahan pada struktur kimianya. Pirolisis dapat dianggap sebagai suatu bentuk khusus dari *thermolysis* yang berkaitan dengan proses pengkarbonan, dan umumnya diterapkan pada bahan organik [4]

Proses pirolisis dikategorikan menjadi 3 tipe yaitu :

1. Pirolisis lambat (*slow pyrolysis*). Proses pirolisis ini dilakukan dengan pemanasan yang berlangsung perlahan, sekitar (5-7K/menit). Metode ini menghasilkan sedikit cairan, tetapi menghasilkan lebih banyak gas dan arang.
2. Pirolisis cepat (*fast pyrolysis*). Proses pirolisis ini dilakukan dalam waktu pemanasan 0,5-2 detik pada suhu antara 400-600 °C, diikuti dengan pemadaman yang cepat di akhir proses. Pemadaman yang cepat sangat krusial untuk mendapatkan produk dengan berat molekul tinggi sebelum berubah menjadi senyawa gas yang memiliki berat molekul rendah. Dengan metode ini, dapat dihasilkan produk minyak pirolisis yang mencapai 75% lebih tinggi dibandingkan pirolisis konvensional.
3. Pirolisis Kilat (*flash pyrolysis*). Proses ini terjadi dalam waktu sangat singkat, hanya beberapa detik dengan suhu yang sangat tinggi. *flash pyrolysis* pada biomassa memerlukan pemanasan yang cepat dan ukuran partikel yang kecil, yaitu sekitar 105 - 250 µm.

Suhu adalah elemen yang sangat berpengaruh terhadap proses pirolisis lambat dalam mencapai hasil terbaik. Fungsi suhu dalam proses pirolisis adalah memberikan panas yang diperlukan untuk memecah ikatan kimia dalam biomassa. Efektivitas konversi biomassa meningkat seiring dengan naiknya suhu dan pemutusan ikatan dalam biomassa. Banyak studi menunjukkan bahwa output bio-oil yang tinggi dapat dicapai pada suhu antara 450 hingga 550°C, tetapi angka ini dapat bervariasi tergantung pada jenis biomassa yang digunakan serta faktor proses lainnya [5].

Berdasarkan penjelasan sebelumnya, penelitian ini dilakukan untuk mempelajari distribusi produk dari pirolisis lambat *off-grade rubber* pada suhu 200°C dengan memanfaatkan reaktor pirolisis di skala laboratorium. Penelitian ini juga bertujuan untuk menganalisis komposisi kimia dari produk cair hasil pirolisis lambat *off-grade rubber* menggunakan alat Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS).

METODOLOGI PENELITIAN

Alat dan Bahan Penelitian

Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini, yaitu reaktor pirolisis skala laboratorium AND MX-50, GCMS-QP-2010 Ultra gas chromatograph-mass spectrometer (Shimadzu), alat suntik TERMUNO, saringan, erlenmeyer dan piknometer, stopwatch, botol vial, botol UC, obeng, selang, tang, kunci inggris, gunting, cawan petri, botol sampel, neraca analitik, batang pengaduk.

Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu, *off-grade rubber* yang diperoleh dari Kecamatan Palaran, kota Samarinda, Kalimantan Timur.

Prosedur Penelitian

Analisis Kadar Air

Analisis kadar air dilakukan dengan menggunakan perangkat AND MX-50 yang mengikuti standar Standard-MID. Sebanyak 5 gram dari sampel diambil dan diletakkan dalam wadah sampel kemudian diratakan agar pemanasan berlangsung merata. Suhu yang digunakan untuk analisis diatur pada 200°C dan durasi analisis ditetapkan selama 4,3 menit. *Persentase* kadar air yang didapat pada menit ke 4,3 dicatat. Analisis ini dilakukan dua kali.

Analisis Kadar Abu

Analisis kadar abu analisis menggunakan alat *TGA/DSC 1 STARE System, Metler Toled* dengan *software stare evaluation*. Proses analisis dimulai dengan mengambil massa sampel dari data TGA pada suhu di atas 500°C, kemudian sampel tersebut dipanaskan pada suhu kamar hingga mencapai suhu 800°C di bawah aliran gas nitrogen dengan laju aliran sebesar 50 mL/menit.

Proses Pirolisis

Proses pirolisis ini menggunakan suhu 200 °C dengan memanfaatkan reaktor pirolisis dalam skala laboratorium. Pertama, arang kayu dimasukkan ke dalam tempat penampung, kemudian sebanyak 1 kg sampel karet diletakkan ke dalam *chamber*. Selanjutnya, sampel yang terdapat dalam *chamber* dimasukkan ke dalam lubang *hopper* dan dihubungkan dengan kondensor, sehingga *chamber* dan kondensor terhubung rapat agar tidak ada udara yang masuk ke dalam ruang reaksi. Setelah itu, *probe sensor* termokopel dipasang hingga rapat, dan suhu di pengatur suhu diset hingga 200°C. Selang masuk dan keluar kondensor dihubungkan dengan pompa akuarium yang telah dicelupkan ke dalam air es. Erlenmeyer diletakkan di bawah keran keluaran untuk menampung produk pirolisis, dan keran gas tetap dibuka untuk mengeluarkan gas yang terbentuk. Setelah semua siap, nyalakan api di dalam *hopper* kemudian hidupkan *blower*, pompa kondensor, dan pengatur suhu hingga suhu mulai meningkat. Ketika suhu sudah mencapai 180°C dan mengalami kenaikan yang stabil, *blower* dimatikan dan tempat penampung ditutup. Proses ini dilanjutkan hingga suhu mencapai 200°C. Setelah mencapai suhu tersebut, pertahankan selama 30 menit. Setelah produk dihasilkan dari proses tersebut, matikan *blower*, pompa kondensor, dan pengatur suhu, kemudian turunkan suhu reaktor hingga kembali ke suhu kamar dan bersihkan wadah sampel. Produk yang dihasilkan ditimbang dan hasilnya dicatat.

Karakterisasi *Bio-oil* dengan GC-MS

Sampel *bio-oil* diambil dengan menggunakan suntik TERMUNO dari wadah sampel dan kemudian disaring sebelum dimasukkan ke dalam botol vial. Setelah disaring, sebanyak 0,5 mL sampel ditambahkan dengan 0,5 mL larutan heksan dan diaduk hingga tercampur rata. Sampel yang sudah disiapkan lalu dianalisis menggunakan GCMS-QP-2010 Ultra gas chromatograph-mass spectrometer (Shimadzu) untuk mengidentifikasi komponen kimia yang terdapat dalam *bio-oil*. Syarat analisis adalah sebagai berikut: suhu awal 40 °C, kenaikan suhu selama 3 menit, suhu oven 270 °C, dan suhu injektor 300 °C.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik *Off-grade Rubber*

Kandungan air sangat krusial untuk dipahami dalam proses pirolisis karena air dapat memengaruhi reaksi kimia yang berlangsung[6]. Berdasarkan analisis yang dilakukan diperoleh kadar air dari *Off-grade Rubber* sebesar $23,62 \pm 2,26\%$. Selanjutnya, kandungan abu dari sampel

karet mencapai $11,24 \pm 1,09\%$. Kualitas karet yang optimal, terutama pada elemen kimia seperti jumlah kotoran dan kandungan abu, harus memenuhi Standar Indonesia Rubber (SIR).

Tabel 1. Hasil Karakterisasi *Off-grade Rubber*

Parameter	Kadar
Kadar Air	$23,62 \pm 2,26\%$
Kadar Abu	$11,24 \pm 1,09\%$

Proses Pirolisis

Proses pirolisis di suhu yaitu 200 °C dalam 30 menit menghasilkan produk cair dengan 2 fase yaitu fase organik (*bio-oil*) dan fase *aqueous*. Hasil dari *bio-oil* menunjukkan variasi yang berbeda pada sejumlah suhu dengan waktu reaksi selama 30 menit. Pada suhu 200°C, *yield bio-oil* yang dihasilkan mencapai 0,27%, sementara fase *aqueous* yang dihasilkan adalah 2,1%. Pada suhu ini, proses dekomposisi belum berjalan dengan baik dan belum ideal untuk menghasilkan *bio-oil* secara maksimal.

Karakterisasi *Bio-oil* dengan GC-MS

Hasil analisis GC-MS *bio-oil off-grade rubber* dapat dilihat senyawa-senyawa dominan yang diperoleh dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Senyawa-senyawa Dominan yang terdapat pada *Bio-oil Off-grade Rubber* pada suhu 200 °C

No	Waktu Retensi (menit)	Nama Senyawa	% Area
1.	13,430	Glyceroltriethylether	51.74
2.	32.765	3,3-Dimethyl-1-oxa-3-silacycloheptanone-7	10.71
3.	51,630	Heptanoicacid, 1-methylethylester	3.51
4.	313,29	1-methylethyl heptanoate	3.07
5.	50,019	1-Methyl-1-ethoxy-1-silacyclopentane	2.91

Dapat diamati bahwa senyawa-senyawa utama dengan persentase area tertinggi dalam *bio-oil* pada temperatur 200°C mencakup *Glyceroltriethylether*, yang diperoleh dari bahan tambahan atau pelarut yang digunakan selama proses dekomposisi *bio-oil*, seperti gliserol dan eter, dimana senyawa ini dapat menguap tanpa mengalami perubahan struktur [7]. Senyawa *3,3-Dimethyl-1-oxa-3-silacycloheptanone-7* pada suhu tersebut berasal dari dekomposisi ringan bahan tambahan organosilikon yang terlepas pada temperatur rendah [8]. Senyawa *heptanoic acid, 1-methyl-ethyl ester* dan *1-methyl-ethyl heptanoate* dapat terbentuk sebagai hasil reaksi antara asam lemak dan alkohol yang tersisa dari aditif atau kontaminan pada karet berkualitas rendah [9]. Senyawa berbasis silikon seperti *1-methyl-1-ethoxy-1-silacyclopentane* dihasilkan dari penguraian aditif silikon dalam material karet [8].

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis yang dilakukan, dapat disimpulkan karakteristik awal *Off-grade Rubber* menghasilkan kadar air sebesar $23,62 \pm 2,26\%$ dan kadar abu sebesar $11,24 \pm 1,09\%$, kemudian di peroleh hasil *yield bio-oil* pada suhu 200 °C yaitu sebesar 0,27% lalu pada *yield* fase *aqueous* pada suhu 200 °C mencapai 2,1%. Analisis senyawa kimia menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry*(GC-MS) menunjukkan bahwa senyawa dengan persen area tertinggi yang dihasilkan adalah *glyceroltriethylether*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains dan Teknologi atas bantuan dana yang telah diberikan untuk melakukan penelitian penulis melalui Hibah Penelitian Fundamental Reguler dengan Nomor Kontrak 616/UN17.L1/HK/2024.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pamungkas, A.S., Sherly, H., & Dina, E.P. (2022). Kajian Variasi Komposisi Perekat Terhadap Karakterisasi Biobriket Kayu Karet. *Jurnal Penelitian Karet*. 40(2). 107-116.
- [2] Hamdani.M. Rozalina. & Kiagus M.Z.B.(2023). Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Produktivitas Penyadap Tanaman Karet di PT. Atjeh Raya Corpindo Kebun Alur Buluh. *JURNAL AGRICA*. 16(2),190-200.
- [3] Neumlang, P., Khadthiphong, A., Pimpakhun, K., Kaewbuadee, J., & Chaichana, E. (2018). Low acid bio-oil from *Para* rubber seeds produced via catalytic pyrolysis with V-modified silica catalyst. *Food and Applied Bioscience Journal*, 6 (1), 135–147.
- [4] Ridhuan.K., Dwi I., & Rizki I. (2019). Proses Pembakaran Pirolisis dengan Jenis Biomassa dan Karakteristik Asap Cair yang Dihasilkan. *Jurnal Program Studi Teknik Mesin UM Metro*. 8 (1),69-78.
- [5] Novita.S.A., Santosa., Nofialdi., Andasuryani., & Ahmad Fudholi5. (2021). Parameter Operasional Pirolisis Biomassa. *Jurnal Argoteknika*, 4(1),53-67.
- [6] Aprellia, S. Irawan R, Ida F. 2024. Pirolisis Campuran Biji Jarak Dan Biji Kapuk Dengan Katalis Zeolit Menjadi Syngas Dan Biochar. *Jurnal redoks*. 9(2), 163-164.
- [7] Watanabe, A., Norio T. 2017. Characterization of Rubber Materials by Pyrolysis-GC/MS. *Journal of the Society of Rubber Industry, Japan*. 90(12): 550–556
- [8] Kulyk, K., et al. (2016). Dimethylsilanone generation from pyrolysis of polysiloxanes filled with nanosized silica and ceria/silica.
- [9] Hu, X., et al. (2017). Upgrading of bio-oil via acid-catalyzed reactions in alcohols. *Fuel Processing Technology*. 155, 2–19