

ANALISIS KOMPOSISI KIMIA PRODUK PIROLISIS LAMBAT *OFF-GRADE RUBBER* PADA SUHU 300 °C

CHEMICAL COMPOSITION ANALYSIS OF SLOW PYROLYSIS PRODUCTS OF OFF- GRADE RUBBER AT 300°C

Agustina Tri Putri Sitinjak¹, RR Dirgarini Julia Nurlianti Subagyono^{1*}, Veliyana Londong Allo¹,
Ari Susandy Sanjaya²

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

²Program Studi Teknik Kimia, Universitas Mulawarman, Indonesia

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

Diterbitkan: 31 Oktober 2025

ABSTRACT

This study was conducted to determine the yield and chemical composition of slow pyrolysis products of off-grade rubber at 300 °C. From the pyrolysis experiments, the yield of bio-oil was 28.25%. Analysis with Gas Chromatography-Mass Spectrometry showed that the bio-oil from off-grade rubber was mainly composed of γ -Elemene, 1H-Benzocycloheptene, octahydro-3,5,5-trimethyl-9-methylene-, (4aS-cis)-, 1,5-Cycloundecadiene, 8,8-dimethyl-9-methylene-, Geranylinalool Isomer B, and Geranylgeraniol.

Keywords: Slow Pyrolysis, Off-grade Rubber, bio-oil, GC-MS

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui yield dan komposisi kimia dari produk pirolisis lambat *off-grade rubber* pada suhu 300°C. Proses pirolisis *off-grade rubber* menghasilkan bio-oil sebesar 28,25%. Hasil karakterisasi kimia dengan menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* menunjukkan bahwa *biocrude oil* didominasi oleh γ -Elemene (Gamma-Elemene), 1H-Benzocycloheptene, octahydro-3,5,5-trimethyl-9-methylene-, (4aS-cis)-, 1,5-Cycloundecadiene, 8,8-dimethyl-9-methylene-, Geranylinalool Isomer B, dan Geranylgeraniol.

Kata kunci: Pirolisis Lambat, Off-grade Rubber, bio-oil, GC-MS

PENDAHULUAN

Jumlah penduduk Indonesia yang terus bertambah, ditambah dengan pesatnya perkembangan teknologi, membuat kebutuhan akan energi juga semakin besar. Berbagai upaya telah dilakukan untuk memenuhi kebutuhan energi ini, terutama yang berasal dari bahan bakar fosil. Namun, karena bahan bakar fosil terbatas dan berdampak buruk bagi lingkungan, kini mulai digunakan sumber energi baru dan terbarukan, salah satunya adalah energi yang berasal dari biomassa [1].

Biomassa adalah bahan alami yang berasal dari tumbuhan melalui proses fotosintesis. Biasanya, biomassa berupa sisa-sisa tanaman atau limbah yang nilai ekonominya rendah setelah bagian utamanya dimanfaatkan. Contoh biomassa antara lain tanaman, pohon, rumput, singkong, limbah dari pertanian dan hutan, kotoran hewan, serta tinja. Selain dimanfaatkan sebagai makanan,

pakan ternak, minyak nabati, dan bahan bangunan, biomassa juga bisa dijadikan sumber energi atau bahan bakar. Jenis biomassa yang sering dipakai sebagai bahan bakar misalnya adalah karet [2].

Karet berasal dari getah pohon *Havea brasiliensis*. Karet yang digunakan *off-grade rubber* berasal dari Bahan Olah Karet (BOKAR) yang telah melalui proses penggumpalan dengan bantuan asam agar bisa diproses lebih lanjut. Namun, bahan ini tidak memenuhi standar kualitas karena masih mengandung kotoran seperti tanah, serat, dan bahan asing lainnya. Meski begitu, pemanfaatan *off-grade rubber* dapat membantu mengurangi limbah karet dan menekan biaya produksi.

Salah satu cara pemanfaatan *off-grade rubber* adalah dengan teknik pirolisis. Pirolisis merupakan proses pemecahan senyawa kimia menjadi bentuk gas, cair, dan padat menggunakan panas. Proses ini berlangsung dalam keadaan tanpa oksigen, sehingga sering disebut sebagai pemanasan atau penguraian termal tanpa kehadiran oksigen[3]. Pirolisis lambat dilakukan dengan pemanasan yang berlangsung secara perlahan, yaitu kurang dari 50°C per menit atau sekitar 0,1 hingga 1 K per detik. Suhu yang digunakan dalam proses ini tergolong rendah, berada dalam kisaran 300 hingga 600°C [4].

Hasil yang diperoleh dari proses pirolisis berupa produk cair atau bisa disebut dengan *bio-oil*. *Bio-oil* umumnya berbentuk cair berwarna gelap dan memiliki aroma khas. Produk pirolisis ini akan dianalisis dengan menggunakan instrumen GC-MS (*Gas Chromatography-Mass Spectrometry*). GC-MS adalah teknik analisis gabungan yang mengombinasikan dua metode: pemisahan zat dengan kromatografi gas dan pendektsian zat dengan spektrometri massa. Teknik ini dipakai untuk mengenali berbagai senyawa dalam sampel, terutama yang mudah menguap [5].

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mempelajari komposisi kimia produk pirolisis lambat *off-grade rubber* pada suhu 300 °C. Komposisi kimia produk *Off-grade Rubber* dilakukan dengan menggunakan analisis GC-MS.

METODOLOGI PENELITIAN

Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu reaktor pirolisis skala lab yang didesain oleh Ari Susandy Sanjaya, pompa vakum, *water bath*, neraca analitik, pH meter, *stopwatch*, pompa aquarium,botol vial, labu erlenmeyer, botol reagen, neraca digital, batang pengaduk dan serangkaian alat refluks, cawan petri, spatula, piknometer 25 mL, saringan, alat suntik TERMUNO, dan MX-50, GCMS-QP-2010 Ultra *gas chromatograph-mass spectrometer* (Shimadzu), TGA/DSC 1 STAR

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *off-grade rubber*, batok kelapa, es batu, garam, kertas saring, akuades, n-heksana, arang.

Prosedur Penelitian

Analisis Kadar Air

Pengujian kadar air dilakukan di The Bioprocess Common Lab, Universiti Sains Malaysia menggunakan alat AND MX-50 dengan acuan Standard-MID. Sebanyak 5 gram sampel diuji dengan cara dipanaskan pada suhu 200°C selama 4,3 menit. Sampel diratakan dalam wadah agar pemanasan merata dan hasil lebih akurat. Persentase kadar air dicatat pada menit ke-4,3. Pengujian dilakukan dua kali (duplo) untuk memastikan hasilnya konsisten.

Analisis Kadar Abu

Pengujian kadar abu dilakukan di The Bioprocess Common Lab, Universiti Sains Malaysia menggunakan alat TGA/DSC 1 STAR dari Mettler Toledo, dibantu dengan perangkat lunak Stare Evaluation. Pengujian ini menggunakan data TGA merupakan, yaitu massa sisa (residu) sampel pada suhu 550°C. Sampel dipanaskan mulai dari suhu ruang hingga 800°C dengan aliran gas nitrogen yang mengalir sebesar 50 mL per menit.

Proses Pirolisis

Proses pirolisis mengikuti metode Sinaga (2018) dengan durasi pirolisis 15 menit. Sebanyak ±1000 gram sampel karet dimasukkan ke dalam *chamber*, lalu dimasukkan ke reaktor melalui *hopper* yang sebelumnya telah diisi arang. *Chamber* disambungkan rapat ke kondensor untuk mencegah kebocoran udara. Termokopel dipasang dan suhu diatur ke 300°C. Kondensor dipasangi selang masuk dan keluar, serta wadah kaca untuk menampung cairan pirolisis dipasang di keran. Setelah alat reaktor sudah terpasang dengan baik, maka pemanasan dimulai. Ketika suhu mencapai 180°C dan terus naik, *blower* dimatikan dan *hopper* ditutup. Uji nyala dilakukan untuk memastikan terbentuknya gas pirolisis. Jika terbentuk, keran gas ditutup dan cairan dialirkan ke wadah penampung. Suhu dijaga di 300°C selama 15 menit atau hingga tidak ada cairan yang keluar. Setelah itu, reaktor didinginkan, wadah dibersihkan, dan produk ditimbang untuk pencatatan hasil. Cairan yang dihasilkan dari pirolisis disebut dengan fase organik atau disebut *bio-oil*. Kemudian diukur persentase yield bio-oil dengan menggunakan rumus pada persamaan 1. sebagai berikut:

$$Yield\ Bio - oil\ (\%) = \frac{Berat\ BO(g)}{berat\ sampel(g)} \times 100\% \quad (1.1)$$

Analisis GC-MS

Sampel bio-oil diambil dari wadah menggunakan alat suntik merek TERUMO, kemudian disaring dan dimasukkan ke dalam botol vial. Sebanyak 0,5 mL hasil filtrasi dicampur dengan 0,5 mL larutan heksan, lalu dihomogenkan hingga tercampur merata. Setelah tahap preparasi selesai, sampel dianalisis menggunakan alat GCMS-QP-2010 Ultra (Shimadzu) untuk mengidentifikasi kandungan senyawa kimia dalam bio-oil. Kondisi analisis meliputi suhu awal 40 °C, ramp selama 3 menit, suhu oven 270 °C, dan suhu injektor 300 °C.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Kadar Air dan Kadar Abu

Analisis kadar air dan kadar abu merupakan karakterisasi yang penting dilakukan sebelum proses pirolisis. Hasil analisis kadar air dan abu dapat di lihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Hasil Analisis Kadar Air dan Abu *Off-grade Rubber*

Parameter	<i>Off-grade Rubber</i> (%)
Kadar Air	23,62 ± 2,26
Kadar Abu	11,24 ± 1,09

Hasil analisis kadar air dan abu pada Tabel 1 dapat diketahui nilai dari masing-masing parameter yaitu diperoleh nilai kadar air sebesar 23,62 ± 2,26 dan kadar abu sebesar 11,24 ± 1,09, dimana Semakin tinggi kandungan abu dalam biomassa, semakin rendah potensi biomassa tersebut untuk dimanfaatkan sebagai sumber bahan bakar. Selain itu, kadar air yang tinggi pada biomassa dapat menurunkan mutu produk cair hasil pirolisis, serta memengaruhi nilai kalor bersih, efisiensi

proses pirolisis, dan suhu yang dibutuhkan selama pirolisis. Hal ini terjadi karena sebagian energi akan terserap untuk menguapkan air yang terkandung dalam biomassa [6].

Proses Pirolisis

Proses pirolisis dilakukan dengan suhu 300 °C dengan waktu 15 menit. Dari proses pirolisis diperoleh *yield bio-oil* sebesar 28.25%. Analisis *bio-oil* dilakukan dengan menggunakan alat GC-MS. Hasil karakterisasi *off-grade rubber* dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Senyawa Dominan *Biocrude oil off-grade rubber* Pada Suhu 300 °C dalam Waktu 15 Menit

No	Waktu Retensi (menit)	Nama Senyawa	% Area
1.	49,520	<i>Gamma.-elemene</i>	7.17
2.	32,908	<i>1H-Benzocycloheptene,2,4a,5,6,7,8,9,9a-octahydro-3,5,5-trimethyl-9-methylene-,(4aS-cis)-</i>	4.30
3.	60,051	<i>1,5-Cycloundecadiene,8,8-dimethyl-9-methylene-</i>	3.75
4.	36,935	<i>Beta.-Bisabolene</i>	2.96
5.	47,186	<i>Geranylinalool Isomer B</i>	2.65

Pada Tabel 2 senyawa dominan yang terkandung dalam *bio-oil* adalah γ -elemene dengan % area sebesar 7.17 senyawa ini merupakan kelompok seskuiterpena yang berasal dari pemutusan dan penataan ulang isoprena [7]. Selanjutnya senyawa yang teridentifikasi adalah 1H-Benzosiklohepten, 2,4a,5,6,7,8,9,9a-oktaidro-3,5,5-trimetil-9-metilen (4aS-cis), yang dikenal pula sebagai α -himachalene. Senyawa ini terbentuk akibat proses pemanasan selama pirolisis, yang menyebabkan pemutusan rantai panjang isoprena dan kemudian mengalami penataan ulang membentuk struktur cincin melalui mekanisme yang dikenal sebagai reaksi siklisasi [8]. Selain itu, senyawa 1,5-Cycloundecadiene, 8,8-dimethyl-9-methylene juga terdeteksi, yang merupakan hidrokarbon siklik hasil pemutusan rantai karbon panjang dalam struktur karet akibat pemanasan, diikuti dengan pembentukan ulang menjadi struktur siklik. Senyawa lain yang terbentuk adalah β -Bisabolene atau dikenal juga sebagai cis- α -bisabolene, yaitu senyawa golongan seskuiterpena yang berasal dari penyusunan ulang monomer isoprena dalam kondisi suhu tinggi [9]. Selanjutnya, ditemukan pula Geranylinalool Isomer B, yaitu senyawa alkohol turunan dari diterpena yang terbentuk dari empat unit isoprena. Senyawa ini muncul sebagai hasil dari proses pirolisis karet, di mana isoprena mengalami pemutusan ikatan dan menjadi senyawa tersebut [10]. Dari senyawa tersebut dilihat bahwa kondisi suhu tinggi selama proses pirolisis menyebabkan terjadinya pemutusan kerangka isoprena dari struktur poliisoprena. Pemutusan dan penataan ulang kembali struktur sehingga hal itu menyebabkan terbentuknya senyawa-senyawa monoterpena dan terpena lainnya, disertai dengan proses penataan ulang struktur molekul [11].

KESIMPULAN

Persentase *yield* hasil produk pirolisis *off-grade rubber* dengan waktu 15 menit sebesar 28,25%. Berdasarkan analisis GC-MS, *bio-oil* produk pirolisis *off-grade rubber* mengandung senyawa turunan terpena dan hidrokarbon siklik.

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] Parinduri, L., & Taufik, P. (2020). Konversi Biomassa Sebagai Sumber Energi Terbarukan. *Journal of Electrical Technology*, 5(2), 87-92.
- [2] Pramudiyanto, A. S., & Sri, W.A.S. (2020). Energi Bersih dan Ramah Lingkungan dari Biomassa untuk Mengurangi Efek Gas Rumah Kaca dan Perubahan Iklim yang Ekstrim. *Jurnal Energi Baru & Terbarukan*, 1(3), 86-99.
- [3] Falaah, A.F., & Adi, C. (2012). Pemanfaatan Limbah Ban Bekas Dengan Menggunakan Teknologi Pirolisis. *Warta Perkaretan*, 31(2), 103-107.
- [4] Aladin, A., Modding, B., Syarif, T., Wijaya, L., & Aziz, H.A. 2023. Pirolisis Simultan. Yogyakarta: PT Nas Media Indonesia.
- [5] Chauhan, A., Goyal, M. K., & Chauhan, P. (2014). GC-MS technique and its analytical applications in science and technology. *Journal of Analytical & Bioanalytical Techniques*, 5(6), 222.
- [6] Lestari, N., Dirgarini, J.N.S., & Veliyana, L.A. (2022). Studi Pirolisis Ampas Tebu Dengan Menggunakan Instrumen Pyrolysis-Gas Chromatography-Mass Spectrometry (Py-Gc/Ms). *Prosiding Seminar Nasional Kimia 2022*. 129-135. Samarinda. Jurusan Kimia FMIPA UNMUL. 30 Oktober 2022.
- [7] Januszewicz, K., Kazimierski, P., Suchocki, T., Kardaś, D., Lewandowski, W., Klugmann-Radziemska, E., & Łuczak, J. (2020). Waste rubber pyrolysis: Product yields and limonene concentration. *Materials*, 13(19), 4435.
- [8] Kan, T., Strezov, V., & Evans, T. J. (2017). Fuel production from pyrolysis of natural and synthetic rubbers. *Fuel*, 191, 403–410.
- [9] Yang, K., & Xu, Y. (2022). Analysis of rubber samples by pyrolysis gas chromatography-mass spectrometry. *PerkinElmer*, Inc.
- [10] Svatoš, A., Urbanová, K., & Valterová, I. (2002). The first synthesis of geranylinalool enantiomers. *Collection of Czechoslovak Chemical Communications*, 67(1), 83–90.
- [11] Wairata, J., Sabirin, M., & Winarto, H. (2013). Isolasi dan Identifikasi Senyawa Terpena Hasil Pirolisis Getah Karet alam (*Hevea brasiliensis*). *Berkala MIPA*, 23(2), 124-131.