

STUDI PIROLISIS *OFF-GRADE RUBBER* DENGAN KATALIS Ni/Ga-SBA-15 MENGUNAKAN ANALISIS TERMOGRAVIMETRI PADA LAJU PEMANASAN 10°C/MENIT

A STUDY OF OFF-GRADE RUBBER PYROLYSIS WITH N/Ga-SBA-15 CATALYST USING TERMOGRAVIMETRY ANALYSIS AT A HEATING RATE OF 10°C/MINUTE

Anisa Anggraeni¹, R.R Dirgarini Julia Nurlianti Subagyo^{1*}, Mohd. Asyraf Kassim²

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

²School of Industrial Technology, Universiti Sains Malaysia, Penang, Malaysia

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

Diterbitkan: 31 Oktober 2025

ABSTRACT

A study of off-grade rubber pyrolysis with Ni/Ga-SBA-15 catalyst using thermogravimetric analysis has been conducted. This study aims to determine the thermal decomposition process of off-grade rubber pyrolysis with Ni/Ga-SBA-15 catalyst using thermogravimetric analysis at a heating rate of 10°C/min. The pyrolysis decomposition temperature of off-grade rubber was divided into three stages, namely water evaporation at a temperature of $\leq 147^{\circ}\text{C}$, active pyrolysis at a temperature of $\pm 147\text{--}454^{\circ}\text{C}$, and passive pyrolysis at a temperature of $\geq 454^{\circ}\text{C}$.

Keywords: *Thermogravimetric analysis, Ni/Ga-SBA-15 catalyst, Off-grade rubber*

ABSTRAK

Studi pirolisis *off-grade rubber* dengan katalis Ni/Ga-SBA-15 menggunakan analisis termogravimetri telah dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui proses dekomposisi termal dari pirolisis *off-grade rubber* dengan katalis Ni/Ga-SBA-15 menggunakan analisis termogravimetri pada laju pemanasan 10°C/menit. Suhu dekomposisi pirolisis *off-grade rubber* dibagi menjadi tiga tahapan yaitu penguapan air terjadi pada suhu $\leq 147^{\circ}\text{C}$, pirolisis aktif terjadi pada suhu $\pm 147\text{--}454^{\circ}\text{C}$ dan pirolisis pasif terjadi pada suhu $\geq 454^{\circ}\text{C}$.

Kata kunci: *Analisis termogravimetri, Katalis Ni/Ga-SBA-15, Off-grade rubber*

PENDAHULUAN

Biomassa adalah senyawa organik yang dihasilkan oleh organisme hidup melalui proses fotosintesis, baik sebagai produk maupun limbah. Sumber daya biomassa dapat dimanfaatkan secara berulang dan dianggap tidak terbatas karena mengikuti siklus dasar karbon melalui fotosintesis [1]. Biomassa memiliki potensi untuk diolah menjadi berbagai produk bernilai tambah yang dapat dimanfaatkan secara langsung maupun tidak langsung, termasuk dalam bentuk cair, padat, dan gas [2]. Salah satu jenis biomassa yang dapat digunakan sebagai sumber energi adalah limbah karet. Karet biasanya dimanfaatkan sebagai koagulan lateks yang dihasilkan dari proses penyedapan pada pohon karet. Bahan Olah Karet Rakyat (BOKAR) adalah karet alami yang telah dikoagulasi dengan asam dan siap untuk diolah. Sedangkan *off-grade rubber* adalah BOKAR yang tidak memenuhi standar kualitas karena masih mengandung kontaminan seperti tanah, serat, atau bahan asing lainnya. Dengan demikian, diperlukan teknologi alternatif untuk mengubah *off-grade rubber* menjadi produk yang memiliki nilai tinggi.

Salah satu teknologi yang dapat dimanfaatkan untuk mengubah biomassa menjadi bahan bakar adalah konversi termokimia. Metode yang diterapkan dalam konversi termokimia mencakup gasifikasi, pirolisis, dan liquifikasi [3]. Pirolisis adalah proses di mana bahan terdekomposisi pada suhu tinggi tanpa kehadiran udara atau dengan pasokan udara yang terbatas. Produk utama yang dihasilkan dari pirolisis meliputi padatan (*char*/arang), gas, dan cairan (*bio-oil*) [4]. Melalui proses pirolisis, biomassa dan polimer akan mengalami pemutusan ikatan yang menghasilkan molekul-molekul dengan ukuran dan struktur yang lebih sederhana. Dalam pirolisis, terjadi degradasi termal biomassa dengan pemanasan tinggi dalam lingkungan *inert* (tanpa oksigen) pada tekanan atmosfer, yang menghasilkan sumber energi hidrokarbon. Produk yang dihasilkan dipengaruhi oleh berbagai parameter, seperti komposisi biomassa, laju pemanasan, suhu pirolisis, durasi pirolisis, ukuran biomassa, dan penggunaan katalis [5].

Dalam penelitian ini, digunakan katalis Ni/Ga-SBA-15 (Nikel/Galium-*Santa Barbara Amorphous*-15) pada pirolisis *off-grade rubber*, di mana SBA-15 berperan sebagai pengemban katalis dan Galium (Ga) ditambahkan pada kerangka silika untuk meningkatkan sifat keasamannya [6]. Analisis termogravimetri dapat mengindikasikan proses penguraian termal suatu material yang ditunjukkan melalui penurunan massa berdasarkan waktu pemanasan [7].

Pada penelitian ini dilakukan analisis termogravimetri *off-grade rubber* dengan laju pemanasan 10°C untuk mempelajari perilaku dekomposisi termal dan rentang suhu pirolisis aktif serta pirolisis pasif *off-grade rubber*.

METODOLOGI PENELITIAN

Alat dan Bahan Penelitian

Alat Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu neraca analitik, spatula, seperangkat alat gelas, Vortex V-1 plus, TGA/DSC 1 *STAR^e system*, Metler Toledo dengan *software stare evaluation* dan *Crucible Aluminium Oxide Crucibles* 70 μ L ME: 24123.

Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu *off-grade rubber* yang diperoleh dari Handil Bakti, Palaran, Samarinda, Kalimantan Timur, gas nitrogen, iso-propil alkohol, katalis Ni/Ga-SBA-15 yang disintesis oleh Grup Riset KBK Kimia Fisik, Universitas Mulaarman. Berdasarkan penelitian Madani (2022), katalis Ni/Ga-SBA-15 yang digunakan memiliki luas permukaan sebesar 667,368 m²/g dan volume pori sebesar 0,87 cm³/g.

Prosedur Penelitian

Preparasi Sampel

Sampel *off-grade rubber* ditimbang sebanyak 2 gram dan dicampur dengan 0,2 gram katalis Ni/Ga-SBA-15 menggunakan vortex v-1 plus. Sampel campuran tersebut kemudian digunakan untuk analisis TGA.

Karakterisasi Sampel

Analisis Kadar Air

Analisis kadar air dilakukan secara duplo dengan metode Standard-MID menggunakan alat AND MX-50 di The Bioprocess Common Lab, Universiti Sains Malaysia.

Analisis Kadar Abu

Analisis kadar abu dilakukan menggunakan alat TGA/DSC 1 *STAR^e System*, Metler Toledo dengan *software stare evaluation* di The Bioprocess Common Lab, Universiti Sains Malaysia.

Analisis Termogravimetri

Pirolisis *off-grade rubber* dengan katalis Ni/Ga-SBA-15 dilakukan menggunakan alat TGA/DSC 1 *STAR^e System*, Metler Toledo dengan *software stare evaluation*. Pada proses preparasi, *crucible* (aluminium oksida 70 μ L) dibersihkan dengan menggunakan iso-propil alkohol dan

dikeringkan. Lalu, *crucible* dimasukkan ke dalam alat TGA dan ditera hingga massa *crucible* bernilai 0 mg. Setelah itu, sampel *off-grade rubber* sebanyak 5 - 10 mg dimasukkan ke dalam *crucible* menggunakan spatula dan diratakan permukaan sampel secara perlahan. Sampel dipanaskan dari suhu ruang hingga 800°C di bawah aliran gas nitrogen (laju alir = 50 mL/menit) dengan variasi suhu pemanasan 10°C/menit. Hasil analisis yang diperoleh berupa kurva TGA atau termogram yang menampilkan perubahan massa (%) vs temperatur (°C). Menurut Subaygono [8] penentuan T_1 (suhu awal pirolisis aktif) dan T_2 (suhu akhir pirolisis aktif) adalah sebagai berikut: T_1 adalah temperatur dimana kurva TG telah melandai setelah tahap penghilangan air dan merupakan temperatur nilai optimum puncak pertama pada kurva DTG, sedangkan suhu akhir (T_2) pirolisis aktif berkisar pada suhu ~550°C.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik *Off-grade Rubber*

Analisis proksimat yang dilakukan pada pirolisis *off-grade rubber* mencakup kadar air dan kadar abu. Kadar air dalam proses pirolisis sangat penting karena dapat menghambat reaksi kimia. Air dapat mengikat senyawa kimia, sehingga dapat mengurangi kualitas produk dan nilai kalor yang dihasilkan [9]. Selain kadar air, analisis kadar abu juga penting karena dapat mempengaruhi efisiensi *bio-oil* dan jenis senyawa yang dihasilkan. Aktivitas katalitik abu pada mineral anorganik dapat meningkatkan pembentukan gas dan arang, serta mengurangi hasil *bio-oil* [6]. Berdasarkan hasil analisis, didapatkan kadar air sebesar 23,62 % dan kadar abu sebesar 11,24 %.

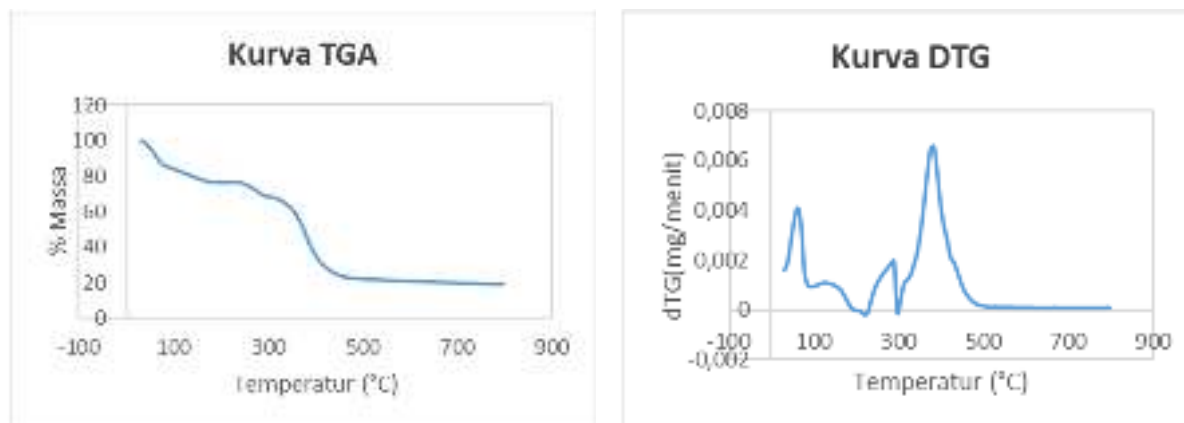
Tabel 1. Analisis Proksimat *Off-grade Rubber*

No.	Analisis Proksimat	
	Parameter	Kadar (%)
1.	Kadar Air	23,62
2.	Kadar Abu	11,24

Pirolisis dengan TGA

Analisis Termogravimetri adalah metode analisis termal yang digunakan untuk mengamati penguraian material berdasarkan kehilangan massa seiring dengan waktu pemanasan [10]. Pada penelitian ini, pirolisis *off-grade rubber* dilakukan dengan katalis Ni/Ga-SBA-15 menggunakan analisis termogravimetri pada laju pemanasan 10°C/menit. Pergeseran termal yang terjadi akibat peningkatan laju pemanasan dapat disebabkan oleh perlambatan dalam kenaikan suhu, dimana semakin tinggi laju pemanasan, semakin besar pula transfer panas yang terjadi [11].

Pada pirolisis *off-grade rubber* dengan laju pemanasan 10°C/menit, rentang suhu aktif pirolisis berkisar antara 147 – 454°C. Rentang suhu ini diperoleh dari kurva TG yang menunjukkan penghilangan massa maksimum yang ditandai dengan melandainya kurva TG, serta kurva DTG yang menunjukkan laju degradasi maksimum, yang ditandai dengan puncak tertinggi pada kurva DTG.



Gambar 1. Kurva TG dan DTG

Berdasarkan pada kurva TG dan DTG (**Gambar 1**), terjadi tiga tahapan degradasi pada pirolisis *off-grade rubber* dengan katalis Ni/Ga-SBA-15 yaitu penguapan air, pirolisis aktif/devotilisasi utama dan pirolisis pasif. Tahap pertama yaitu penguapan air dimana terjadi dekomposisi senyawa-senyawa organik yang mudah menguap yang terjadi pada suhu $\leq 147^{\circ}\text{C}$. Tahap kedua yaitu pirolisis aktif/devotilisasi utama, yang dimulai pada rentang suhu $146 - 454^{\circ}\text{C}$. Proses pirolisis aktif dengan penambahan katalis Ni/Ga-SBA-15 menyebabkan penurunan massa biomassa akibat terjadinya dekomposisi dan degradasi termal. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan katalis Ni/Ga-SBA-15 dapat meningkatkan konversi termokimia, yang ditunjukkan dari peningkatan persentase massa yang mengalami dekomposisi dan degradasi. Pada tahap ketiga yaitu pirolisis pasif terjadi pada suhu $\geq 454^{\circ}\text{C}$ dimana terjadi dekomposisi senyawa yang disebabkan oleh pemanasan pada suhu tinggi.

Tabel 2. Tahap proses pirolisis *Off-grade Rubber*

No.	Tahap	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	Pengurangan massa (%)
1.	Penguapan air	≤ 147	21,11
2.	Pirolisis aktif	$147 - 454$	55,34
3.	Pirolisis pasif	≥ 454	4,85

Berdasarkan **Tabel 2**, pada pirolisis *off-grade rubber* dengan katalis Ni/Ga-SBA-15, tahap pertama (penguapan air) terjadi pada suhu $\leq 147^{\circ}\text{C}$ dengan pengurangan massa sebesar 21,11 %. Tahap kedua, pirolisis aktif/ devolitisasi utama terjadi pada rentang suhu $147 - 454^{\circ}\text{C}$ dengan pengurangan massa sebesar 55,34 %. Pada puncak kedua ini, karet mengalami penguapan/degradasi aditif, misalnya minyak pemrosesan yang digunakan selama kopolimerisasi karet [12]. Tahap ketiga, pirolisis pasif terjadi pada suhu $\geq 454^{\circ}\text{C}$ dengan pengurangan massa sebesar 4,85 %.

KESIMPULAN

Off-grade rubber memiliki kadar air sebesar 23,62 % dan kadar abu sebesar 11,24 %. Proses degradasi pada pirolisis *off-grade rubber* dengan katalis Ni/Ga-SBA-15 dibagi menjadi tiga tahapan. Tahap pertama yaitu penguapan air terjadi pada suhu $\leq 147^{\circ}\text{C}$ dengan pengurangan massa sebesar 21,11 %. Tahap kedua yaitu pirolisis aktif terjadi pada rentang suhu $147 - 454^{\circ}\text{C}$ dengan pengurangan massa sebesar 55,34 %. Tahap ketiga yaitu pirolisis pasif terjadi pada suhu $\geq 454^{\circ}\text{C}$ dengan pengurangan massa sebesar 4,85 %.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains dan Teknologi melalui Hibah Penelitian Fundamental Reguler dengan Nomer Kontrak

616/UN17.L1/HK/2024. Ucapan terima kasih ditujukan kepada Puan Aida dari Universiti Sains Malaysia atas bantuan atas bantuannya selama pelaksanaan analisis termogravimetri. Serta terima kasih kepada Ibu Dr. R.R Dirgarini J.N.S., M.Sc atas bimbingannya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Naviza, F., Gunardi, W., Wahyu, H., & Slamet, B.Y. (2001). Peluang Keanekaragaman Jenis Biomas Untuk Energi Biomas. *Journal Of Forestry Research*, 6(2), 63–72.
- [2] Primadanty, R.P. (2023). Potensi Biomassa dalam Transisi Energi di Indonesia. *Parahyangan Economic Development Review (PEDR)*, 2(2), 136-143.
- [3] Parinduri, L., & Taufik, P. (2020). Konversi Biomassa Sebagai Sumber Energi Terbarukan. *Journal of Electrical Technology*, 5(2), 88-92.
- [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] Febriyanti, F., Naela, F., Ari, S.S., Yazid, B., & Anton, I. (2019). Pemanfaatan Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit Menjadi Bio-char, Bio-oil dan Gas Dengan Metode Pirolisis. *Jurnal Chemurgy*, 03(2), 12-17.
- [6] Ridhawati., Wahab, A.W., Nafie, N. L., & Firmansyah, F. (2018). Pengaruh Metode Sinresis Silika Mesopori SBA-15 Terhadap Analisis Differential Scanning Calorimetry dan Pengukuran Low Angles X-Ray Diffraction. *Journal INTEK*, 5(1), 39-43.
- [7] Mayasari, H.E., & Agung, Y.W. (2019). Karakteristik dan Kinetika Dekomposisi Termal Komposit CR/NR dengan Substitusi Bahan Pengisi. *Jurnal Teknologi Proses Dan Inovasi Industri*, 4(2), 59-63.
- [8] Subagyono, R.D.J., Putri, S.A., Manawan, M., Mollah, M., Nugroho, R.A., & Rahmat, G. (2023). Catalytic Pyrolysis of the Green Microalgae *Botryococcus braunii* over Ni/SBA-15 Prepared by the Ultrasonic-Assisted Sol-Gel Method. *ACS omega*, 8(9), 8582-8595.
- [9] Lestari, S.P., Aswan, A., Effendy, S., Febriana, I. S.S.E.R., Safitri, W., & Shaskia, b.a. (2020). Katalis Zeolit dengan Metode Pirolisis Liquid Fuel Production From Beef Tallow Using The Zeolite Catalyst With Pyrolysis Method. *Jurnal Kinetika*, 11(02), 1-9.
- [10] Jafarian, S., & Tavasoli, A. (2018). A Comparative Study on The Quality of Bioproducts Derived from Catalytic Pyrolysis of Green Microalgae *Spirulina (Arthrospira) plantensis* Over Transition Metals Supported on HMS-ZSM5 Composite. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(43), 19902–19917.
- [11] Musselim, E., Tahir, M. H., Ahmad, M. S., & Ceylan, S. (2018). Thermokinetic And TG/DSC-FTIR Study of Pea Wasted Biomass Pyrolysis. *Applied Thermal Engineering*, 137(p): 54-61.
- [12] Danon, B., Gryp, P.V., & Görgens, J.F. (2015). Combined Model-free And Model-based Devolatilisation Knetics Of Tyre Rubbers. *Thermochimica Acta*, 601: 45-53.