



STUDI EKSPERIMENTAL VARIASI SUHU PIROLISIS TERHADAP YIELD PRODUK CAIR LIMBAH PLASTIK LOW DENSITY POLYETHYLENE (LDPE) DAN POLYPROPYLENE (PP)

Martina Kuncara⁽¹⁾, Tirtayasa⁽²⁾

Teknik Mesin, Universitas Islam Al-Ihya Kuningan

Email: martinakuncara1@gmail.com⁽¹⁾, tyasa2658@gmail.com⁽²⁾

INFO ARTIKEL

Artikel Masuk: 13 Mei 2026
Artikel Review: 15 Mei 2026
Artikel Revisi: 15 Mei 2026

Kata kunci:

Pirolisis, Yield, Produk Cair, Real-time, Suhu.

ABSTRAK

Plastik menjadi masalah karena penumpukan dan minim pengolahan yang menimbulkan pencemaran. Pengolahan limbah plastik banyak dikembangkan salah satunya dengan menggunakan metode pirolisis. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengolahan limbah plastik *Low Density Polyethylene* (LDPE) dan *Polypropylene* (PP) melalui proses pirolisis pada variasi suhu 450°C dan 500°C. Sistem pirolisis dilengkapi sensor termokopel yang terintegrasi kontroler sehingga data suhu dapat dipantau secara *real-time*. Hasil pengujian menunjukkan terjadi perbedaan warna dan kuantitas pada kedua sampel tersebut dengan *yield* produk cair yang dihasilkan sebanyak 60% pada plastik LDPE, dan 82-84% *yield* produk cair plastik PP. Peningkatan suhu hingga 500°C menyebabkan *cracking* berlebih pada kedua sampel yang ditandai dengan peningkatan fraksi gas. Distribusi suhu tertinggi pada TC1 akibat konfigurasi pemanasan dari bawah, sehingga pada TC2 dan TC3 suhu tidak seragam. Limbah plastik PP menunjukkan potensi lebih baik dibandingkan LDPE dalam menghasilkan produk cair melalui proses pirolisis.

ABSTRAK

Kata kunci:

Pyrolysis, Yield, Liquid Product, Real-Time, Temperature.

Plastic waste has become a serious environmental problem because its continuous accumulation and limited processing contribute significantly to pollution. This study analyzes the conversion of Low-Density Polyethylene (LDPE) and Polypropylene (PP) plastic waste into liquid products through pyrolysis at temperatures of 450°C and 500°C. The researchers equipped the pyrolysis reactor with thermocouple sensors integrated with a controller to monitor temperature distribution in real time during the process. The results show significant differences in both the physical characteristics and quantity of the liquid products produced by each plastic type. LDPE generated a liquid yield of 60%, while PP produced a substantially higher yield of 82–84%, indicating superior conversion performance. When the temperature increased to 500°C, both plastic types experienced excessive thermal cracking, which increased the gas fraction and reduced liquid product formation. Temperature monitoring also revealed that TC1 recorded the highest temperature because the reactor applied heat from the bottom, while TC2 and TC3 showed less uniform temperature distribution. Overall, PP plastic waste demonstrated better potential than LDPE for producing liquid products through the pyrolysis process under the tested operating conditions.

Pendahuluan

Plastik merupakan polimer sintesis yang terdiri dari rantai molekul panjang yang terbentuk dari unit-unit monomer, plastik banyak digunakan dalam berbagai aspek kehidupan seperti kemasan makanan, minuman, produk rumah tangga, peralatan elektronik hingga medis [1]. Karena sifat plastik ini menimbulkan masalah penumpukan sampah plastik menjadi tinggi dan menjadi masalah bagi lingkungan serta kesehatan manusia [2].

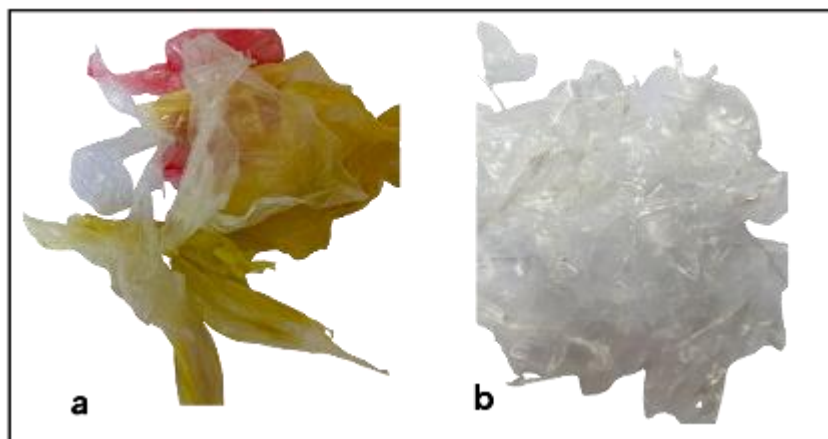
Menurut studi yang telah dilakukan jumlah limbah plastik mencapai jutaan ton per tahun dan ini belum termasuk jumlah limbah plastik yang tertimbun dan tersebar di seluruh Indonesia [3]. Saat ini pengolahan limbah plastik dilakukan dengan metode tradisional yaitu dibuang ke tempat pembuangan akhir dan tempat pembuangan sampah yang dapat menimbulkan pencemaran serta limbah plastik yang dibakar dapat menghasilkan gas hidrogen sulfida (H_2S) yang menjadi racun bagi lingkungan, terlebih plastik memiliki senyawa klorida (Cl) yang dapat menghasilkan dioksin jika dibakar dengan suhu rendah [4]. Salah satu metode yang dinilai efektif untuk meningkatkan nilai guna limbah plastik adalah pirolisis, yaitu proses dekomposisi termal pada suhu tinggi dengan sedikit atau tanpa oksigen untuk menghasilkan produk berupa minyak, gas, dan *char* [5].

Limbah plastik dapat diubah menjadi bahan bakar melalui proses dekomposisi *thermal* pada suhu tinggi tanpa adanya oksigen maupun sedikit oksigen, karena plastik menghasilkan hidrokarbon yang merupakan komponen utama bahan bakar [6]. Metode pirolisis merupakan proses dekomposisi *thermal* yang sangat bergantung pada suhu, produk yang dihasilkan dari pengujian proses pirolisis menunjukkan semakin besar laju pemanasan maka minyak yang dihasilkan semakin besar sedangkan gas dan padatan semakin kecil [7]. Pengolahan sampah plastik dengan metode pirolisis menjadi bahan bakar minyak juga menunjukkan kenaikan suhu mempengaruhi hasil minyak yang dihasilkan, penelitian dilakukan dengan variasi suhu 350°C, 400°C, 450°C pengukuran suhu diatur sesuai dengan suhu yang sudah ditentukan [5].

Penelitian ini mengkaji pengaruh variasi suhu terhadap *yield* produk cair hasil pirolisis limbah plastik *Low Density Polyethylene* (LDPE) dan *Polypropylene* (PP). Pengukuran suhu dilakukan pada tiga posisi berbeda di dalam reaktor untuk memetakan distribusi termal selama proses eksperimen. Variasi suhu diterapkan guna menentukan kondisi optimum *yield* produk cair.

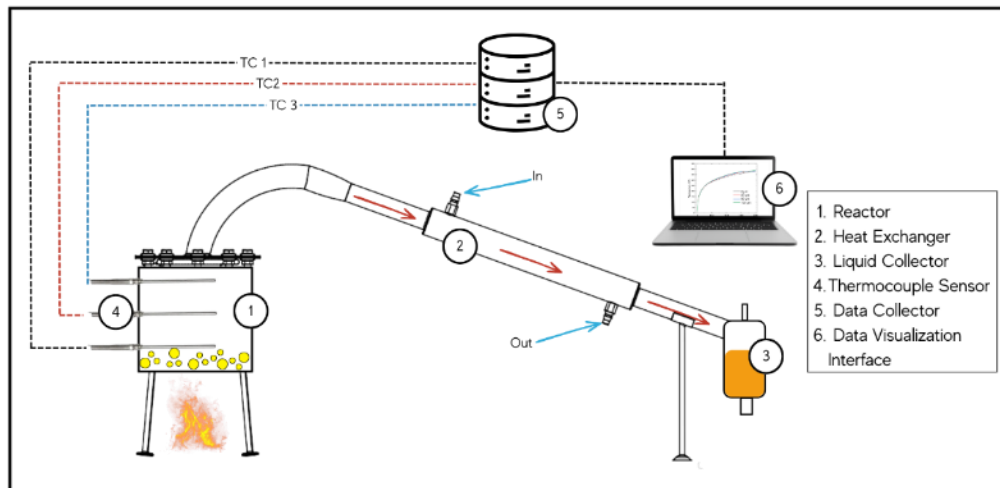
Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode eksperimen yang dimulai dengan pengumpulan limbah plastik jenis LDPE dan PP kemudian dicacah menjadi bagian kecil seperti yang ditunjukkan pada gambar 1. Variasi suhu yang digunakan pada rentang 450 – 500°C dengan durasi waktu yang tetap yaitu pada 30 menit pada setiap pengujian.

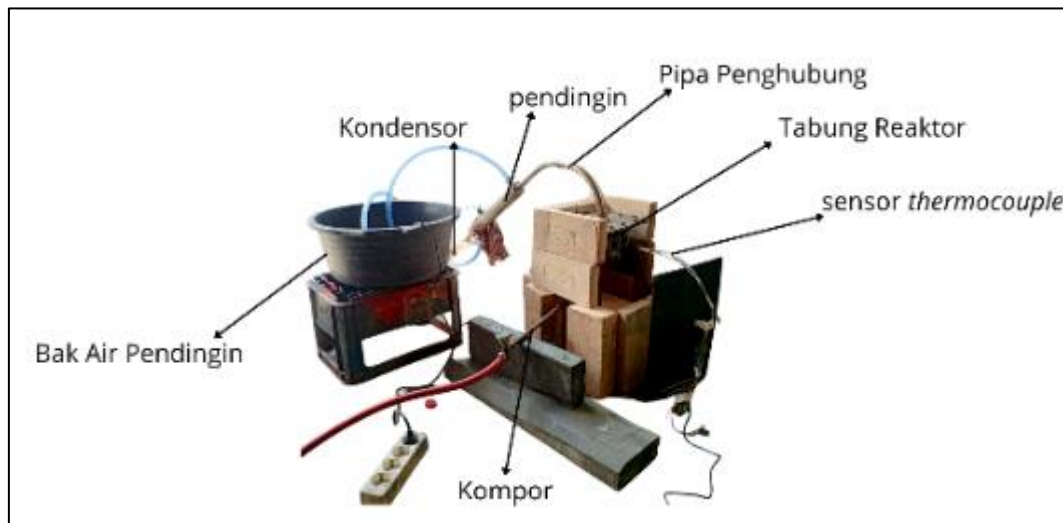


Gambar 1 Limbah plastik, a) *Low Density Polyethylene*, b) *Polypropylene*

Dalam penelitian ini, telah di buat alat pirolisis dengan skema yang ditunjukkan pada gambar 2. *Prototype* pirolisis ini terdiri dari, 1) *Reactor*, sebagai tempat dekomposisi termal keadap oksigen. 2) *Heat exchanger*, untuk proses kondensasi asap menjadi cairan. 3) *Liquid Collector*, sebagai penampungan produk cair yang dihasilkan pada proses pirolisis. 4) *Thermocouple sensor*, sebagai sensor yang memberikan data suhu pada tiap posisi pada reaktor. 5) *Data Collector*, menggunakan *microcontroller* sebagai perangkat konversi output sensor menjadi kumpulan data suhu *real-time*. 6) *Data visualization Interface*, data yang dikumpulkan kemudian di tampilkan dalam bentuk grafik untuk di analisis.



Gambar 2 Skema Prototype



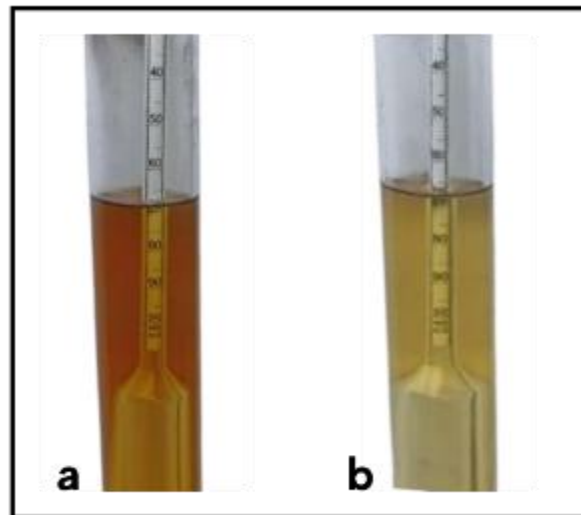
Gambar 3 Alat Pirolisis

Skema tersebut di realisasikan dan di buat mulai dari reaktor dengan volume maksimal sebesar ± 1 liter dengan diameter reaktor 110 mm dan tinggi 105 mm dan ketebal material 1 mm, kedua spesimen di panaskan didalam tabung reaktor dengan variasi suhu, proses pemanasan akan terbaca oleh sensor termokopel yang terhubung dengan mikrokontroller untuk memungkinkan pemantauan suhu secara *real-time*.

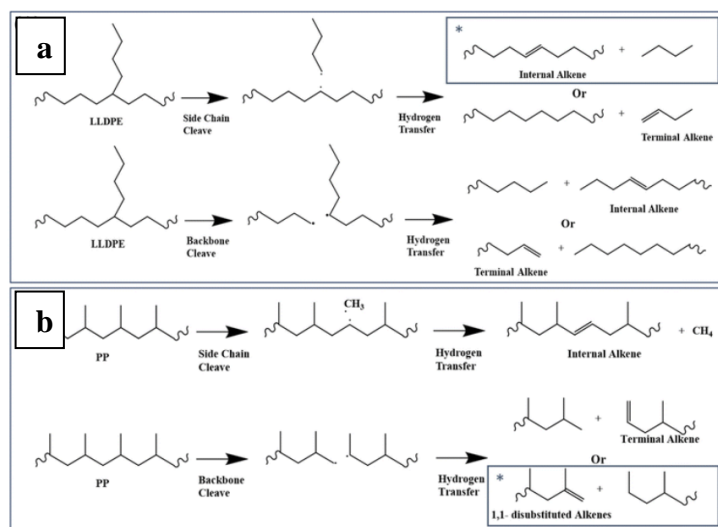
Hasil dan Pembahasan

Hasil Produk Cair

Berdasarkan hasil pengujian di dapatkan produk cair antara limbah plastik LDPE dan PP pada gambar 4. Terdapat perbedaan warna di mana produk cair dari LDPE memiliki warna yang lebih pekat di bandingkan dengan PP, mengindikasi adanya variasi distribusi produk termal akibat perbedaan struktur polimer dan mekanisme degradasi. Perbedaan warna tersebut dipengaruhi oleh jenis *polyolefin*, tingkat percabangan rantai dan kondisi pirolisis sehingga menentukan fraksi minyak berat dan minyak ringan pada pirolisis [8][9]. Produk cair PP menghasilkan fraksi yang lebih ringan dibandingkan LDPE didasarkan pada keberadaan gugus metil (CH_3) pada setiap atom karbon kedua di sepanjang rantai PP. Sebagaimana ditunjukkan dalam mekanisme degradasi termal pada gambar 5, keberadaan gugus ini menciptakan situs karbon tersier yang menstabilkan pembentukan radikal bebas melalui efek induksi. Hal ini menurunkan energi aktivasi untuk proses β -scission, sehingga rantai PP lebih mudah terfragmentasi menjadi molekul hidrokarbon rantai pendek dibandingkan LDPE yang didominasi oleh ikatan karbon sekunder [8].



Gambar 4 Produk cair hasil pirolisis. a) *Low Density Polyethylene*, b) *Polypropylene*

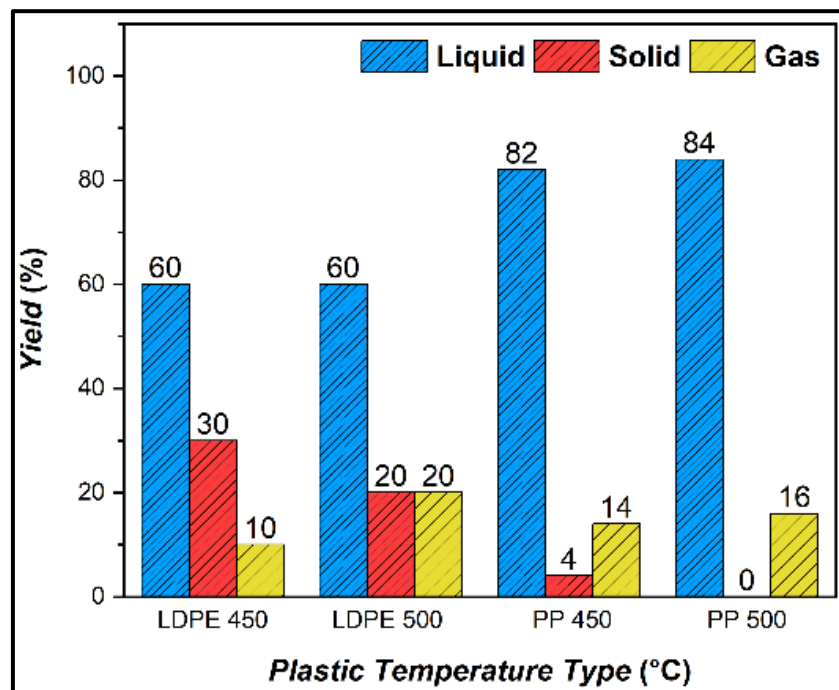


Gambar 5 Kemungkinan jalur degradasi termal. a) LLDPE dan b) PP, [8].

Produk pirolisis meliputi *liquid*, Solid (*Char*), dan Gas yang diukur dalam gram (%). Produk *liquid* yang dihasilkan pada proses pirolisis plastik LDPE menunjukkan hasil yang sama sedangkan *char* dan gas yang berbeda, pada suhu $450^{\circ}C$ *char* yang dihasilkan 30% dan gas 10% sedangkan pada suhu $500^{\circ}C$ *char* yang dihasilkan 20% dan gas 20%. Pada pirolisis plastik PP dengan suhu $450^{\circ}C$ produk *liquid* yang dihasilkan 82% *char* dan gas yang dihasilkan 4% dan 14% sedangkan pada suhu $500^{\circ}C$ *liquid* yang dihasilkan 84% dengan *char* 0% dan gas 16%. Menunjukkan bahwa variasi suhu memiliki pengaruh

terhadap produk yang dihasilkan, rata-rata pengujian dengan menambahnya suhu produk padatan semakin kecil dan diubah menjadi gas, hal ini karena pada saat proses pirolisis plastik mengalami proses pemecahan rantai polimer seiring dengan bertambahnya suhu di dalam tabung reaktor menjadi senyawa dengan kandungan yang lebih rendah [6].

Berdasarkan gambar 6 plastik PP lebih banyak menghasilkan produk cair dibandingkan dengan plastik LDPE hal ini karena dari struktur molekulnya, plastik LDPE memiliki rantai polimer panjang dan bercabang secara acak yang membuat titik lemah pada setiap titik monomer ketika diberi panas dan menghasilkan lebih banyak produk *char* dan gas dibandingkan plastik PP [10].



Gambar 6 Yield produk cair hasil pirolisis

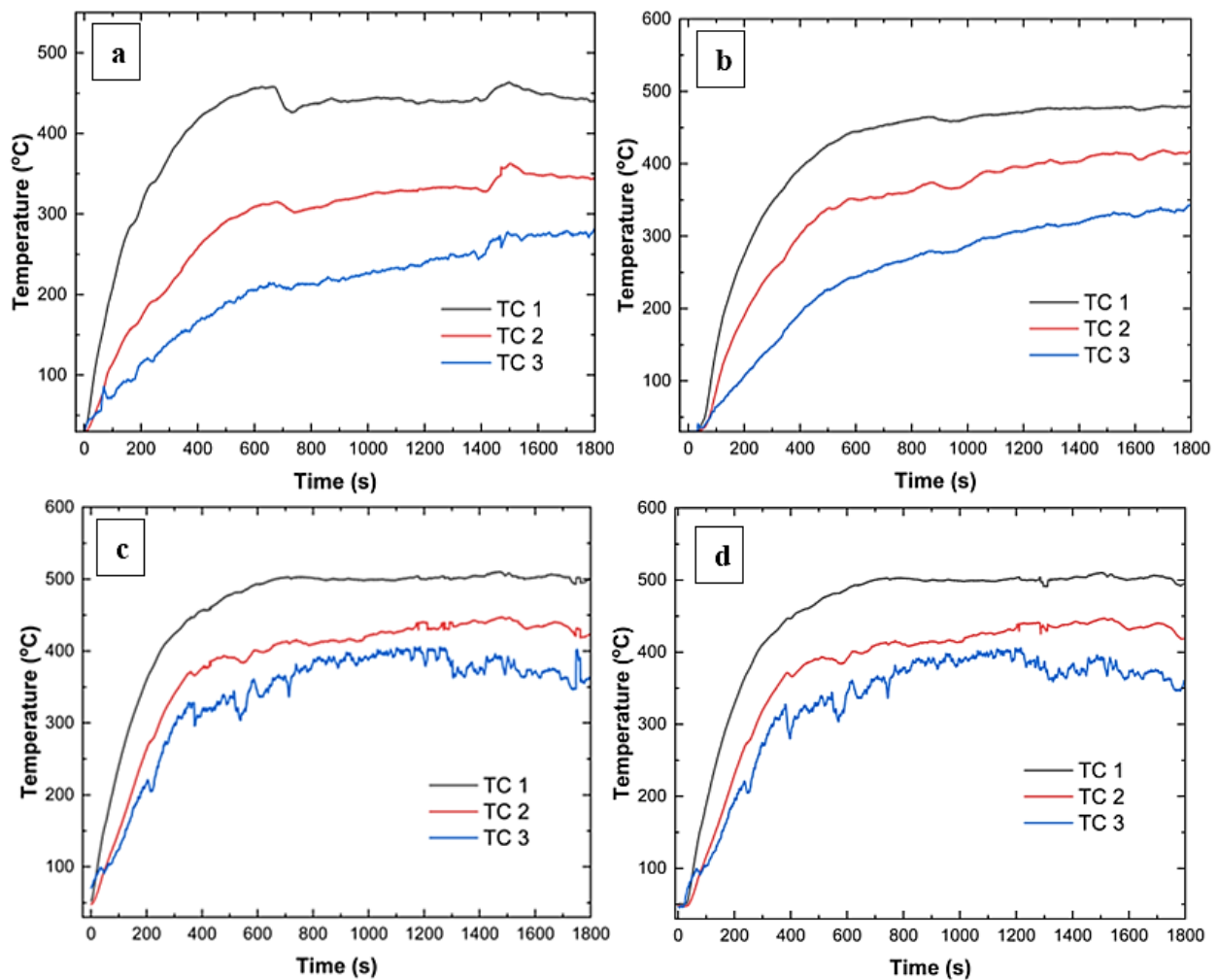
Distribusi Suhu Reaktor

Distribusi suhu pada reaktor pirolisis diukur menggunakan 3 termokopel pada posisi yang berbeda sehingga menghasilkan grafik yang ditunjukkan pada gambar 7. TC1 merupakan sensor yang paling dekat dengan sumber panas, TC2 di bagian tengah dan TC3 di bagian yang paling jauh dari sumber panas. Selama proses pirolisis berlangsung TC1 menunjukkan suhu tertinggi yang diikuti oleh TC2 dan TC3, perbedaan data suhu tersebut menunjukkan adanya gradien termal vertikal yang jelas.

Suhu tertinggi berada pada TC1 memberikan gambaran bahwa sumber panas pada proses pirolisis berlangsung dari bawah ke atas, konfigurasi pemanasan ini membuat bagian bawah reaktor mengalami pemanasan dan devolatilisasi lebih awal [11]. Meskipun konfigurasi pemanasan dari bawah dapat meningkatkan intensitas pemanasan ke atas, tetapi berpotensi menyebabkan *local overheating* serta *cracking* berlebih pada *volatile* sebelum menuju kondensor [12].

Pada TC2 dan TC3 suhu lebih rendah yang menunjukkan distribusi panas tidak seragam yang bergantung pada mekanisme konduksi, konveksi dan radiasi serta material yang digunakan dalam pengujian [13]. Pengujian pada LDPE dan PP 450°C memberikan gambaran gradien termal yang cukup jauh antar posisi sensor, sehingga hasil produk cair pada pengujian tersebut lebih rendah di bandingkan dengan LDPE dan PP 500°C. Fluktuasi suhu terjadi pada TC3 pada pengujian dengan suhu yang tinggi, hal tersebut berhubungan dengan dinamika pelepasan *volatile matter* selama proses dekomposisi aktif. yang

mempengaruhi pola aliran gas, mengubah kondisi perpindahan panas yang memicu variasi suhu pada kondisi tertentu [12].



Gambar 7 Distribusi suhu reaktor. a) LDPE 450°C, b) PP 450°C, c) LDPE 500°C, d) LDPE 500°C

Kesimpulan

Limbah plastik LDPE dan PP telah berhasil di konversi menjadi produk cair melalui metode pirolisis. LDPE memiliki hasil produk cair yang lebih pekat di bandingkan dengan plastik PP, dengan hasil *yield liquid* sebesar 60% pada kedua pengujian dan terjadi peningkatan produk gas pada suhu 500°C yang menunjukkan adanya *cracking* berlebih pada suhu tinggi. *yield liquid* pada PP menunjukkan kuantitas lebih baik yaitu 82-84%, dengan sisa char yang minim dan peningkatan produk gas seiring bertambahnya suhu. Distribusi suhu tertinggi terjadi pada TC1 akibat pemanasan dari bawah yang menyebabkan fluktuasi suhu pada TC2 dan TC3 sehingga pemanasan tidak merata pada bagian atas reaktor yang mempengaruhi produk akhir pirolisis.

Bibliografi

- [1] B. Jiang *et al.*, “Health impacts of environmental contamination of micro- And nanoplastics: A review,” *Environ. Health Prev. Med.*, vol. 25, no. 1, pp. 1–15, 2020, doi: 10.1186/s12199-020-00870-9.
- [2] M. O. Rodrigues, N. Abrantes, F. J. M. Gonçalves, H. Nogueira, J. C. Marques, and A. M. M. Gonçalves, “Impacts of plastic products used in daily life on the environment and human health: What is known?,” *Environ. Toxicol. Pharmacol.*, vol. 72, p. 103239, 2019, doi:

<https://doi.org/10.1016/j.etap.2019.103239>.

- [3] N. M. Dinatha *et al.*, “Pengolahan Sampah Plastik Melalui Kreativitas Produk Ecobrick,” *J. Abdimas Ilm. Citra Bakti*, vol. 4, no. 4, pp. 875–883, 2023, doi: 10.38048/jailcb.v4i4.2251.
- [4] S. Farin, “Penumpukan Sampah Plastik Yang Sulit Terurai Berpengaruh Pada Lingkungan Hidup Yang Akan Datang,” pp. 1–10, 2021.
- [5] J. A. Riandis, A. R. Setyawati, and A. S. Sanjaya, “Pengolahan Sampah Plastik dengan Metode Pirolisis menjadi Bahan Bakar Minyak (Plastic Waste Processing using Pyrolysis Method into Fuel Oil),” *J. Chemurg.*, vol. 05, no. 1, pp. 8–14, 2021.
- [6] A. Supriyanto and Y. Y. Kristiawan, “Pemanfaatan Limbah Ban Bekas Sebagai Bahan Bakar Alternatif dengan Metode Pirolisis,” *J. Tek. Atw*, pp. 35–40, 2017.
- [7] R. P. Liestiono, M. S. Cahyono, W. Widyawidura, A. Prasetya, and M. Syamsiro, “Karakteristik Minyak dan Gas Hasil Proses Dekomposisi Termal Plastik Jenis Low Density *Polyethylene* (LDPE),” *J. Offshore Oil, Prod. Facil. Renew. Energy*, vol. 1, no. 2, p. 1, 2017, doi: 10.30588/jo.v1i2.288.
- [8] J. Wu *et al.*, “pyrolysis-derived plastic oil composition †,” pp. 11908–11923, 2024, doi: 10.1039/d4gc04029e.
- [9] S. Valizadeh *et al.*, “Recent advances in *liquid* fuel production from plastic waste via pyrolysis: Emphasis on polyolefins and polystyrene,” *Environ. Res.*, vol. 246, p. 118154, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118154>.
- [10] M. Syamsiro, “Kajian Pengaruh Penggunaan Katalis Terhadap Kualitas Produk,” *Teknik*, vol. 5, no. 1, pp. 1–85, 2015.
- [11] Đ. Milica, S. Papuga, and A. Kolund, “Analysis of the thermal behavior of a fixed bed reactor during the pyrolysis process,” no. October, pp. 1–12, 2023.
- [12] S. Papuga, S. V. Cipriotti, and M. Djurdjevic, “Effects of an Inertization System on Waste Plastic Pyrolysis in a Fixed Bed Reactor,” 2025.
- [13] H. Li, “Kinetic study of pyrolysis of high-density *Polyethylene* (HDPE) waste at different bed thickness in a fixed bed reactor,” no. October 2020, pp. 1733–1744, 2021, doi: 10.1002/cjce.24123.