



Rancang Bangun dan Evaluasi Kinerja Mesin Pirolisis Dalam Mengolah Limbah Plastik LDPE dan PP Menjadi Minyak Cair

Muhamad Safi'i^{1*}, Ardika Rendi Hadi Ansyah², Hisyam Ma'mun³.

^{1,2,3} Progam Studi Teknik Mesin, Universitas PGRI Semarang, Jl. Lontar No. 24, Karangtempel, Kec. Semarang Timur, Kota Semarang.

ARTICLE INFO

Keywords:

Pyrolysis.

Plastic waste.

Low-Density Polyethylene.

Polypropylene.

Yield.

ABSTRACT

This study aimed to design and evaluate the performance of a laboratory-scale pyrolysis machine for converting Low-Density Polyethylene (LDPE) and Polypropylene (PP) plastic waste into liquid oil. The machine consisted of a 2 mm steel reactor, vapor transfer pipe, condenser, and LPG heating system. Each material was tested twice ($n=2$) using 400 g of feed at a reactor temperature of 250°C for 120 minutes. Performance was evaluated from oil temperature, oil volume, oil mass, heat transfer coefficient, heat transfer rate, and yield. The ability of the design to operate at the target temperature for the specified duration and to produce condensate from both materials was used as the practical design indicator. LDPE produced an average oil volume of 62.5 mL, oil mass of 42.5 g, and yield of 10.63%, while PP produced 67.5 mL, 47.5 g, and 11.88%, respectively. The average heat transfer coefficient was 73.42 W/m²·°C for LDPE and 73.83 W/m²·°C for PP. The average heat transfer rate was 1000.24 W for LDPE and 1000.17 W for PP. Thus, under the tested conditions and limited repetitions, PP showed a higher average yield and heat transfer coefficient, while the heat transfer rates were close. These results indicate a material-specific tendency rather than a statistically verified overall superiority of PP.

Pendahuluan

Plastik adalah salah satu material yang banyak dimanfaatkan dalam berbagai

aspek kehidupan sehari-hari. Tingginya penggunaan plastik didukung oleh berbagai keunggulan, seperti memiliki daya tahan

*Corresponding author: muhamadsafii@upgris.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.24127/armatur.v7i2.12916>

Received 25 August 2026; Received in revised form 6 September 2026; Accepted 7 September 2026

Available online 15 September 2026

yang baik, bobot yang ringan, bersifat transparan, tahan terhadap air, serta memiliki biaya produksi yang relatif rendah. Karakteristik tersebut menjadikan plastik sebagai material yang banyak digunakan untuk kemasan makanan, minuman, maupun berbagai kebutuhan lainnya [1]. Akumulasi sampah dalam berbagai bentuk tersebut menjadi salah satu permasalahan lingkungan yang membutuhkan penanganan secara efektif [2]. Indonesia termasuk negara dengan tingkat konsumsi plastik yang terus meningkat. Akibatnya, volume limbah plastik yang dihasilkan juga semakin besar. Apabila tidak diimbangi dengan sistem pengelolaan yang efektif sejak dini, akumulasi limbah tersebut berpotensi menyebabkan pencemaran dan berbagai persoalan lingkungan yang berpotensi menjadi semakin serius di masa depan [3]. Sampah plastik termasuk dalam kategori limbah anorganik yang tersusun atas senyawa kimia dengan sifat sulit terdegradasi secara alami. Akibatnya, limbah ini membutuhkan waktu yang sangat lama, bahkan puluhan hingga ratusan tahun, untuk mengalami proses penguraian di lingkungan sehingga berpotensi menimbulkan pencemaran [4]. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengatasi permasalahan sampah plastik adalah melalui proses pirolisis. Pirolisis adalah proses penguraian termal suatu material melalui pemanasan pada temperatur tinggi dengan kondisi tanpa oksigen atau kandungan oksigen yang sangat rendah, sehingga menghasilkan produk berupa minyak, gas, dan residu padat [5]. Sistem pirolisis yang dikembangkan menggunakan elemen pemanas sebagai sumber energi panas untuk memanaskan limbah plastik hingga mengalami dekomposisi termal dalam keadaan tanpa adanya oksigen atau dengan kadar oksigen yang sangat rendah. Melalui proses tersebut, rantai polimer plastik terurai menjadi uap hidrokarbon yang selanjutnya dikondensasikan sehingga menghasilkan minyak cair sebagai bahan bakar alternatif [6]. Unit pirolisis pada umumnya terdiri atas

sumber panas (tungku), reaktor, kondensor sebagai alat penukar panas, dan tangki penampung minyak hasil pirolisis. Tungku berfungsi sebagai penyedia energi panas yang digunakan untuk memanaskan reaktor sehingga limbah plastik mengalami pelelehan dan dekomposisi termal, menghasilkan uap hidrokarbon. Uap yang terbentuk kemudian dialirkan menuju kondensor untuk didinginkan melalui proses perpindahan panas menggunakan media air. Selama proses tersebut, uap mengalami perubahan fase dari gas menjadi cair sehingga diperoleh minyak pirolisis yang selanjutnya ditampung pada wadah penampung. Reaktor berperan sebagai tempat berlangsungnya proses pirolisis, sedangkan proses kondensasi memungkinkan pemisahan komponen hidrokarbon berdasarkan perbedaan titik didihnya sehingga dihasilkan produk minyak cair [7].

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa kajian pirolisis plastik telah dilakukan dengan fokus yang berbeda. Studi numerik pada burner industri berbahan bakar gas memvariasikan daya pembakaran 200, 700, dan 1000 kW serta tekanan 105,5 dan 211 kPa, dan memperoleh efisiensi maksimum 63,03% pada 1000 kW dan 211 kPa. Hasil tersebut menunjukkan bahwa variasi daya pembakaran dan tekanan operasi berpengaruh terhadap kinerja sistem pirolisis. Namun, penelitian tersebut masih berfokus pada simulasi kondisi operasi dan efisiensi sistem secara keseluruhan, sehingga belum memberikan kajian yang mendalam mengenai karakteristik perpindahan panas di dalam reaktor, distribusi temperatur pada bagian-bagian mesin, serta hubungan antara distribusi panas dengan proses pemanasan bahan baku.[8]. Penelitian mengenai pengolahan limbah plastik jenis PP melalui proses pirolisis menunjukkan bahwa material tersebut mempunyai potensi sebagai sumber energi alternatif dalam bentuk bahan bakar cair. Penelitian tersebut berfokus pada optimasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa temperatur optimum sebesar 400°C

mampu menghasilkan minyak pirolisis dengan rendemen mencapai 79,85%, sedangkan waktu proses optimum selama 25 menit menghasilkan rendemen sebesar 72,19%. Temuan tersebut mengindikasikan bahwa penelitian sebelumnya lebih menitikberatkan pada pengaruh kondisi operasi terhadap peningkatan hasil minyak pirolisis, sementara aspek perancangan mesin dan analisis perpindahan panas belum menjadi fokus utama [9]. Penelitian terdahulu mengenai proses pirolisis limbah plastik PP dan LDPE dengan penambahan katalis zeolit alam berfokus pada analisis kualitas minyak pirolisis berdasarkan nilai densitas (massa jenis). Hasil pengujian juga menunjukkan bahwa minyak hasil pirolisis dari limbah plastik PP memiliki nilai densitas, baik tanpa maupun dengan penambahan katalis zeolit alam, memiliki nilai yang mendekati rentang densitas bensin RON 88 berdasarkan SNI 3506:2017, yaitu sebesar 715–850 kg/m³. Temuan tersebut menunjukkan bahwa penelitian sebelumnya telah memberikan informasi mengenai karakteristik fisik minyak hasil pirolisis dan potensi penggunaannya sebagai bahan bakar alternatif. Namun, penelitian tersebut lebih menitikberatkan pada karakteristik produk akhir, khususnya densitas minyak, dan belum mengkaji secara mendalam hubungan antara kondisi termal selama proses dengan karakteristik minyak yang dihasilkan [10]. Penelitian terdahulu mengenai evaluasi proses pirolisis limbah plastik rumah tangga menggunakan reaktor listrik berdasarkan perspektif ekonomi sirkular menunjukkan bahwa teknologi pirolisis termal mampu mengonversi berbagai jenis limbah plastik menjadi produk yang bernilai guna. Penelitian tersebut menggunakan reaktor listrik dengan daya pemanas sebesar 2000 W, yang dioperasikan pada rentang temperatur 450–500°C selama 4–5 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa delapan jenis plastik rumah tangga memiliki karakteristik dekomposisi termal yang bervariasi, sebagaimana ditunjukkan oleh perbedaan jumlah produk cair dan residu

padat hasil pirolisis. Namun, penelitian tersebut lebih berfokus pada evaluasi kemampuan proses pirolisis dalam mengolah berbagai jenis limbah plastik dan belum mengkaji secara mendalam aspek kinerja mesin, distribusi temperatur, maupun analisis perpindahan panas selama proses pirolisis [11]. Penelitian terdahulu terkait pemanfaatan teknologi pirolisis untuk mengubah limbah plastik menjadi bahan bakar cair telah banyak dikembangkan, khususnya dengan memanfaatkan plastik jenis LDPE maupun plastik campuran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jenis plastik yang digunakan berpengaruh terhadap volume minyak pirolisis yang dihasilkan. Pada proses pirolisis dengan massa bahan baku sebesar 150 gram, plastik LDPE menghasilkan minyak sebanyak 23,5 ml, sedangkan plastik campuran menghasilkan minyak sebesar 40 ml. Namun, penelitian tersebut lebih berfokus pada perbandingan volume minyak berdasarkan jenis bahan baku, sehingga belum mengkaji secara mendalam aspek termal yang berlangsung selama proses [12]. Penelitian mengenai optimasi proses pirolisis limbah plastik LDPE menggunakan metode *Response Surface Methodology* (RSM) berbasis *Central Composite Design* (CCD) bertujuan untuk menentukan kondisi operasi yang paling optimal dalam menghasilkan minyak pirolisis. Berdasarkan pengujian yang dilakukan, kondisi optimum dicapai pada laju pemanasan sebesar 10°C/menit dengan massa katalis zeolit alam 24,04 gram. Pada kondisi tersebut dihasilkan minyak pirolisis sebanyak 523,83 mL dengan *yield* sebesar 52,38%. Selain itu, model kuadratik yang diperoleh memiliki nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9394, yang menunjukkan bahwa model mampu memprediksi hasil proses pirolisis dengan tingkat akurasi yang tinggi. Hasil tersebut memperlihatkan bahwa optimasi parameter operasi dan penggunaan metode statistik dapat digunakan untuk memperoleh kondisi proses yang menghasilkan minyak pirolisis secara optimal. Namun, penelitian tersebut

lebih menitikberatkan pada optimasi parameter proses dan pemodelan statistik, sedangkan aspek fundamental mengenai kinerja termal mesin, distribusi temperatur dalam reaktor, serta mekanisme perpindahan panas selama proses pemanasan LDPE belum dikaji secara mendalam. [13].

Berdasarkan keterbatasan tersebut, *research gap* penelitian ini terletak pada evaluasi langsung LDPE dan PP menggunakan satu mesin pirolisis dengan kondisi operasi yang dikendalikan sama, kemudian menghubungkan hasil produk dengan parameter perpindahan panas. Perbedaannya dengan penelitian terdahulu adalah penelitian ini tidak melakukan optimasi temperatur atau katalis, tetapi mengevaluasi kinerja rancangan alat pada kondisi tetap melalui temperatur minyak, volume minyak, massa minyak, koefisien perpindahan panas, laju perpindahan panas, dan rendemen. Kebaruan penelitian terletak pada integrasi evaluasi rancang bangun mesin dan perbandingan dua material plastik dalam kondisi operasi yang sama, sehingga pengaruh perbedaan material dapat diamati tanpa memasukkan variasi temperatur dan waktu sebagai variabel perlakuan. Dengan pendekatan tersebut, penelitian ini bertujuan mengevaluasi kinerja mesin pirolisis yang dirancang dalam mengolah limbah LDPE dan PP menjadi minyak cair serta membandingkan karakteristik hasil dan perpindahan panas kedua material pada kondisi pengujian yang sama.

Pengujian dilakukan menggunakan LDPE dan PP masing-masing sebanyak 400 g, dengan waktu proses 120 menit dan temperatur reaktor ditetapkan 250°C. Setiap jenis plastik diuji sebanyak dua kali ($n=2$) pada kondisi operasi yang sama. Dengan desain tersebut, perbandingan antar-material bersifat deskriptif dan digunakan untuk melihat kecenderungan hasil, bukan untuk menyatakan perbedaan statistik populasi. Hasil pengujian menunjukkan koefisien perpindahan panas LDPE sebesar 73,36–73,47 W/m²·°C dan PP sebesar 73,80–73,85

W/m²·°C. Laju perpindahan panas berada pada 999,98–1000,50 W untuk LDPE dan 999,93–1000,40 W untuk PP. Rendemen LDPE berada pada 10–11,25%, sedangkan PP 11,25–12,50%. Dengan demikian, penelitian ini secara khusus membandingkan material pada kondisi operasi terkendali dan mengintegrasikan indikator perpindahan panas dengan hasil rendemen.

Pendekatan analisis dilakukan secara deskriptif dengan menghitung nilai rata-rata dan simpangan baku (SD) dari dua pengulangan untuk setiap material. Keterkaitan perpindahan panas dan rendemen dievaluasi dengan membandingkan kecenderungan nilai koefisien perpindahan panas (h), laju perpindahan panas (q), dan rendemen pada LDPE dan PP. Karena hanya terdapat dua pengulangan per material dan tidak dilakukan uji inferensial, hubungan tersebut tidak ditafsirkan sebagai hubungan kausal atau perbedaan yang signifikan secara statistik. Hasil penelitian diharapkan memberikan informasi teknis mengenai kinerja mesin pada kondisi operasi yang diuji dan menjadi dasar untuk penelitian lanjutan dengan jumlah pengulangan dan variasi parameter yang lebih besar. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun tabung reaktor pirolisis sebagai komponen utama pada perangkat pengolah limbah plastik menjadi bahan bakar cair. Teknologi ini berpotensi dimanfaatkan oleh masyarakat maupun pelaku Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah sebagai salah satu alternatif pengelolaan limbah yang sekaligus dapat memberikan manfaat ekonomi [14].

Metode Penelitian

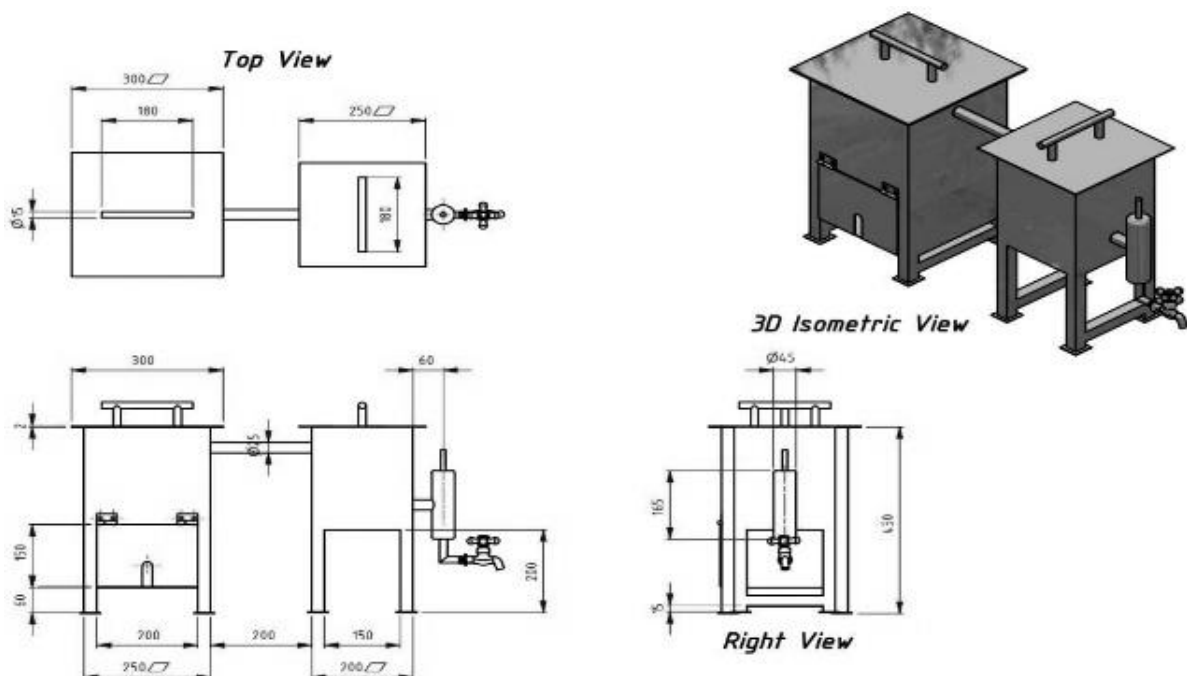
2.1 Model Fisik

Gambar 1 menunjukkan rancangan mesin pirolisis yang digunakan untuk mengolah limbah plastik menjadi minyak melalui pemanasan tanpa oksigen. Desain alat ditampilkan dalam *top view*, *front view*,

right view, dan *3D isometric view* untuk memperlihatkan bentuk dan susunan komponen. Mesin terdiri atas reaktor, kondensor, pipa penyalur uap, rangka penyangga, dan sistem pemanas. Reaktor dibuat dari plat besi setebal 2 mm dan ditempatkan di atas rangka penyangga. Reaktor dan kondensor dihubungkan dengan pipa penyalur uap. Kondensor berfungsi mendinginkan uap hasil dekomposisi sehingga terbentuk minyak cair. Kontribusi desain dalam penelitian ini dinilai dari kemampuan sistem mempertahankan operasi pada temperatur target 250°C selama 120 menit dan menghasilkan kondensat minyak pada kedua material yang diuji. Reaktor ditutup selama proses sehingga tidak terdapat suplai udara dari luar; oleh karena itu kondisi proses diperlakukan sebagai kondisi oksigen-terbatas. Namun, konsentrasi oksigen di dalam reaktor tidak diukur secara langsung, sehingga istilah kondisi tanpa oksigen digunakan berdasarkan konfigurasi sistem tertutup dan tidak dimaksudkan

sebagai bukti bahwa konsentrasi O₂ bernilai nol.

Pada penelitian ini, LDPE dan PP dipisahkan berdasarkan jenisnya, dibersihkan dari kotoran, kemudian ditimbang masing-masing 400 g. Bahan yang digunakan berasal dari limbah plastik bekas yang telah dipisahkan berdasarkan jenis material. Data primer diperoleh dari dua pengulangan pengujian untuk setiap jenis plastik. Instrumen yang digunakan meliputi termokopel digital untuk temperatur, timbangan digital untuk massa, dan gelas ukur untuk volume. Instrumen dinyatakan dikalibrasi sebelum pengujian. Spesifikasi numerik berupa merek/model, rentang ukur, resolusi, akurasi, dan ketidakpastian instrumen tidak tercatat dalam lembar data penelitian yang tersedia, sehingga tidak ditambahkan nilai estimasi. Keterbatasan dokumentasi instrumen ini dicantumkan agar tidak terjadi klaim akurasi yang tidak dapat diverifikasi.



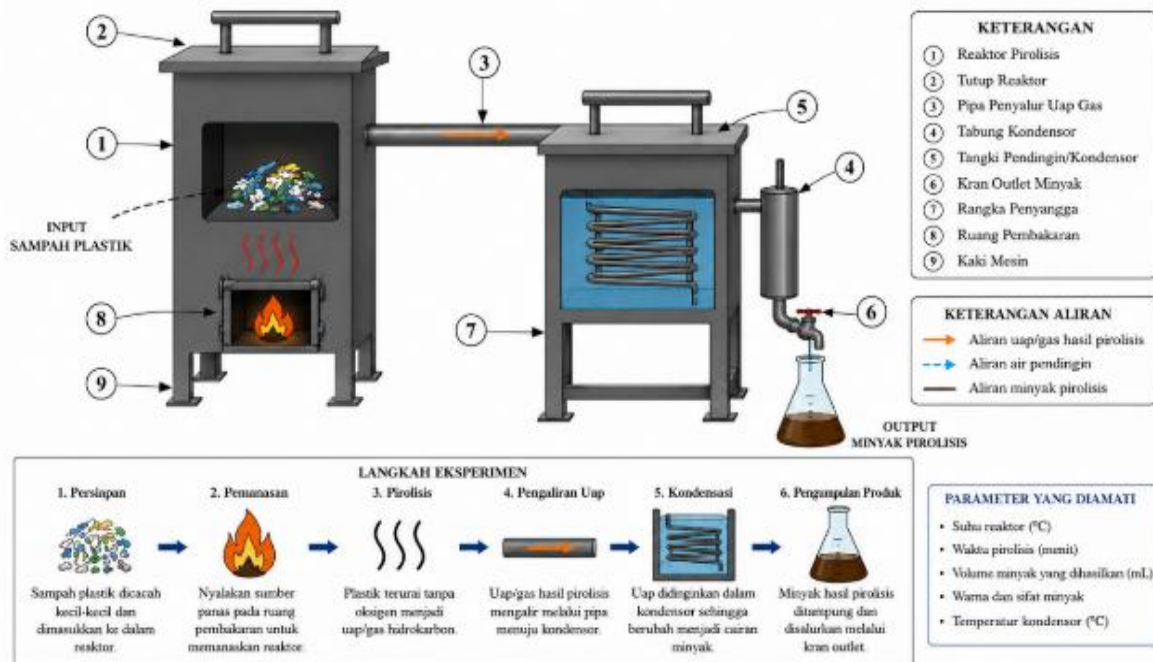
Gambar 1. Model Fisik

2.2 Skema Eksperimen

Gambar 2 menunjukkan skema eksperimen mesin pirolisis. Sistem terdiri atas reaktor, pipa penyalur uap, kondensor, tabung pendingin, dan saluran keluaran minyak. Reaktor dibuat dari plat besi tebal 2 mm dan dipanaskan menggunakan kompor LPG. Temperatur target ditetapkan 250°C dan waktu proses 120 menit. Pemanasan dilakukan sampai temperatur reaktor mencapai nilai target, kemudian kondisi operasi dipertahankan berdasarkan pemantauan termokopel. Pengaturan suplai panas LPG dilakukan selama pengujian berdasarkan pembacaan temperatur reaktor; tidak terdapat sistem kontrol temperatur otomatis yang terdokumentasi. Data fluktuasi temperatur secara kontinu dan toleransi temperatur tidak tersedia dalam lembar pengamatan, sehingga nilai toleransi numerik tidak dilaporkan. Sampel LDPE dan PP yang telah dibersihkan dimasukkan ke reaktor, kemudian uap hidrokarbon hasil dekomposisi dialirkan ke kondensor dan

didinginkan dengan media air hingga menjadi minyak.

Parameter yang diamati meliputi temperatur reaktor, temperatur minyak, waktu proses, volume minyak, massa minyak, koefisien perpindahan panas, laju perpindahan panas, dan rendemen. Pengujian dilakukan dua kali untuk LDPE dan dua kali untuk PP. Data setiap pengulangan dicatat secara terpisah, kemudian dihitung nilai rata-rata dan simpangan baku (SD). Hasil antar-material dibandingkan secara deskriptif. Suplai energi LPG tidak diukur dalam bentuk massa atau volume bahan bakar yang dikonsumsi, sehingga penelitian ini tidak menghitung konsumsi energi spesifik atau efisiensi energi keseluruhan mesin. Pendekatan tersebut membatasi analisis pada indikator perpindahan panas dan hasil minyak yang dapat dihitung dari data yang tersedia.



Gambar 2. Skema Eksperimen

2.3 Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dilakukan melalui eksperimen langsung pada mesin

pirolisis. Sampel LDPE dan PP dipisahkan berdasarkan jenisnya, dibersihkan dari kotoran, dan ditimbang masing-masing 400 g. Sampel kemudian dimasukkan ke reaktor yang ditutup selama proses. Reaktor

dipanaskan menggunakan kompor LPG sampai temperatur target 250°C dan proses dilanjutkan selama 120 menit dengan pemantauan temperatur menggunakan termokopel. Karena tidak dilakukan pengukuran konsentrasi oksigen, kondisi di dalam reaktor dinyatakan sebagai kondisi tertutup/oksigen-terbatas berdasarkan tidak adanya suplai udara eksternal selama proses. Setelah proses selesai, minyak ditampung dan diukur volumenya menggunakan gelas ukur serta massanya menggunakan timbangan digital. Resolusi, ketidakpastian, dan akurasi kedua instrumen tersebut tidak tercatat dalam data penelitian yang tersedia. Setiap material diuji dua kali ($n = 2$). Data kemudian dianalisis secara deskriptif menggunakan rata-rata dan SD, serta dibandingkan melalui rentang dan selisih hasil antar-pengulangan.

2.4 Reduksi Data

2.4.1 Koefisien Perpindahan Panas

Koefisien perpindahan panas (h) digunakan untuk menggambarkan kemampuan perpindahan panas secara konveksi dan dihitung menggunakan Persamaan 1. Pada persamaan tersebut, h adalah koefisien perpindahan panas ($W/m^2 \cdot ^\circ C$), q adalah laju perpindahan panas (W), A adalah luas permukaan perpindahan panas (m^2), dan ΔT adalah perbedaan temperatur antara permukaan panas dan material/fluida yang menerima panas ($^\circ C$).

$$h = \frac{q}{A \cdot \Delta T} \quad (1)$$

2.4.2 Laju Perpindahan Panas

Laju perpindahan panas dihitung menggunakan Persamaan 2. Pada persamaan tersebut, q adalah laju perpindahan panas (W), h adalah koefisien perpindahan panas ($W/m^2 \cdot ^\circ C$), A adalah luas permukaan perpindahan panas (m^2), dan ΔT adalah perbedaan temperatur ($^\circ C$). Nilai q digunakan sebagai indikator besarnya laju energi panas yang dihitung dari parameter perpindahan panas yang tersedia. Nilai ini

tidak sama dengan konsumsi energi LPG karena konsumsi bahan bakar tidak diukur secara langsung.

$$q = h \cdot A \cdot \Delta T \quad (2)$$

2.4.3 Rendemen

Rendemen dihitung menggunakan Persamaan 3 sebagai perbandingan massa minyak terhadap massa plastik awal. Pada persamaan tersebut, rendemen dinyatakan dalam persen (%) [15]. massa minyak adalah massa produk cair hasil kondensasi (g), dan massa plastik awal adalah massa bahan baku yang dimasukkan ke reaktor (g).

$$Rendemen = \frac{\text{massa minyak}}{\text{massa plastik awal}} \times 100\% \quad (3)$$

Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengaruh Material LDPE Terhadap Performa Termal

LDPE merupakan salah satu jenis plastik termoplastik yang memiliki struktur rantai polimer bercabang dengan tingkat kerapatan (densitas) yang relatif rendah. Karakteristik tersebut menyebabkan LDPE bersifat lentur, ringan, serta mudah melunak ketika dipanaskan. Pada proses pirolisis, kenaikan temperatur mengakibatkan LDPE mengalami perubahan dari fase padat menjadi lunak, kemudian mencair sebelum mengalami dekomposisi termal. Selama proses ini, rantai polimer yang panjang terpecah menjadi senyawa hidrokarbon dengan ukuran molekul yang lebih sederhana. Senyawa hasil dekomposisi tersebut berbentuk uap hidrokarbon yang selanjutnya dialirkan melalui pipa menuju kondensor. Di dalam kondensor, uap mengalami proses pendinginan sehingga terjadi kondensasi dan perubahan fase menjadi cair, yang kemudian diperoleh sebagai minyak pirolisis.



Gambar 3. Pengujian Material LDPE

Berdasarkan hasil pengujian diatas, penelitian ini menggunakan sampah plastik jenis LDPE dengan massa bahan baku sebesar 400 gram pada setiap percobaan. Proses pirolisis dilakukan pada suhu reaktor 250°C selama 120 menit. Pada percobaan pertama, sebanyak 400 gram LDPE diproses pada suhu 250°C selama 120 menit. Hasil yang diperoleh berupa minyak pirolisis dengan volume 65 ml dan massa 45 gram. Setelah proses berlangsung, temperatur minyak yang terukur adalah 31,9°C. Selanjutnya, pada percobaan kedua, digunakan kondisi operasi yang sama, yaitu massa LDPE sebesar 400 gram, suhu reaktor 250°C, dan waktu proses 120 menit. Dari pengujian tersebut diperoleh minyak pirolisis sebanyak 60 ml dengan massa 40 gram, sedangkan temperatur minyak tercatat sebesar 32,1°C.

Hasil kedua pengujian LDPE menunjukkan adanya variasi meskipun kondisi operasi dibuat sama. Volume minyak berbeda 5 mL dan massa minyak berbeda 5 g. Secara deskriptif, variasi ini menghasilkan simpangan baku 3,54 mL untuk volume dan 3,54 g untuk massa.

Variasi dapat berasal dari beberapa tahap proses, seperti perbedaan kondisi bahan, kestabilan temperatur, distribusi panas, tingkat dekomposisi, dan efektivitas kondensasi. Namun, penelitian ini tidak memiliki pencatatan temperatur kontinu, distribusi temperatur multi-titik, maupun laju aliran air kondensor, sehingga kontribusi masing-masing faktor tersebut tidak dapat dipisahkan secara kuantitatif. Oleh karena itu, faktor-faktor tersebut diperlakukan sebagai kemungkinan penyebab dan bukan sebagai penyebab yang telah dibuktikan secara eksperimental.

3.2 Pengaruh Material PP Terhadap Performa Termal

PP merupakan salah satu jenis plastik termoplastik yang banyak dimanfaatkan dalam berbagai produk karena memiliki sifat ringan, kekuatan mekanik yang baik, ketahanan terhadap bahan kimia, serta kandungan hidrokarbon yang tinggi. Karakteristik tersebut menjadikan PP sebagai salah satu material yang berpotensi menghasilkan minyak pirolisis dengan rendemen yang relatif tinggi. Secara struktur, PP tersusun atas rantai polimer

yang didominasi oleh atom karbon dan hidrogen sehingga mudah mengalami pemutusan ikatan ketika diberikan energi panas pada proses pirolisis. Selama proses pirolisis, peningkatan temperatur menyebabkan plastik PP mengalami perubahan dari fase padat menjadi lunak, kemudian mencair sebelum mengalami dekomposisi termal. Pada tahap ini, rantai polimer yang panjang terurai menjadi

senyawa hidrokarbon dengan struktur molekul yang lebih sederhana. Senyawa hasil dekomposisi tersebut selanjutnya berbentuk uap hidrokarbon yang dialirkan melalui pipa menuju kondensor. Di dalam kondensor, uap mengalami proses pendinginan sehingga terjadi kondensasi dan perubahan fase menjadi cair, yang kemudian diperoleh sebagai produk akhir berupa minyak pirolisis.



Gambar 4. Pengujian Material PP

Berdasarkan data hasil pengujian, penelitian ini menggunakan plastik jenis PP (*Polypropylene*) dengan massa bahan baku sebesar 400 gram pada setiap percobaan. Proses pirolisis dilaksanakan pada suhu reaktor 250°C dengan waktu pemanasan selama 120 menit. Pada pengujian pertama, sebanyak 400 gram plastik PP diproses pada suhu 250°C selama 120 menit. Proses tersebut menghasilkan minyak pirolisis dengan volume sebesar 70 ml dan massa 50 gram. Temperatur minyak yang diperoleh setelah proses tercatat sebesar 33,3°C. Sementara itu, pengujian kedua dilakukan menggunakan parameter yang sama, yaitu 400 gram PP, suhu reaktor 250°C, dan waktu proses 120 menit. Dari pengujian tersebut diperoleh minyak pirolisis

sebanyak 65 ml dengan massa 45 gram. Temperatur minyak yang tercatat pada pengujian ini sebesar 33,1°C.

Secara keseluruhan, kedua pengujian menunjukkan bahwa PP dapat dikonversi menjadi minyak pada 250°C selama 120 menit. Pengujian pertama menghasilkan 70 mL dan 50 g, sedangkan pengujian kedua menghasilkan 65 mL dan 45 g. Simpangan baku volume dan massa masing-masing sebesar 3,54 mL dan 3,54 g. Perbedaan antar-pengulangan menunjukkan perlunya menjaga kestabilan kondisi operasi. Namun, penelitian ini tidak mengukur distribusi temperatur di beberapa titik atau laju aliran media pendingin, sehingga peningkatan kinerja kondensor atau pemerataan panas belum dapat

dibuktikan. Pengujian tersebut lebih tepat digunakan sebagai dasar rekomendasi untuk penelitian selanjutnya.

Tabel 1. Hasil Pengujian

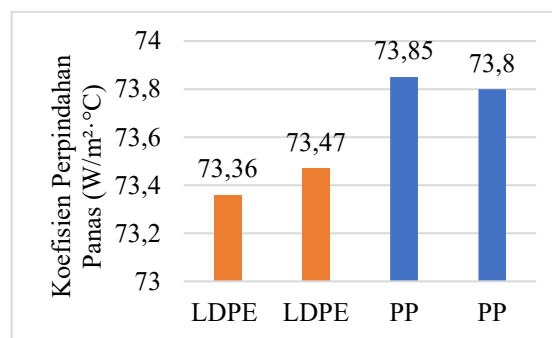
Jenis plastik	LDPE	LDPE	PP	PP
Massa awal plastik (g)	400	400	400	400
Temperatur minyak ($^{\circ}\text{C}$)	31,9	32,1	33,3	33,1
Waktu proses (menit)	120	120	120	120
Volume minyak (ml)	65	60	70	65
Massa minyak (g)	45	40	50	45
Suhu reaktor ($^{\circ}\text{C}$)	250	250	250	250

Berdasarkan hasil pengujian, setiap material diuji sebanyak dua kali dengan massa awal 400 g, temperatur reaktor 250°C , dan waktu proses 120 menit. LDPE menghasilkan volume 65 dan 60 mL, massa 45 dan 40 g, serta temperatur minyak $31,9$ dan $32,1^{\circ}\text{C}$. Nilai rata-ratanya masing-masing $62,5$ mL, $42,5$ g, dan $32,0^{\circ}\text{C}$. Dengan $n=2$, nilai rata-rata digunakan untuk menggambarkan hasil pengujian pada kondisi yang ditetapkan, sedangkan simpangan baku digunakan untuk menunjukkan variasi antar-pengulangan.

Pada LDPE, selisih volume minyak antar-pengulangan sebesar 5 mL dan selisih massa sebesar 5 g. Nilai simpangan baku masing-masing $3,54$ mL dan $3,54$ g. Variasi ini dapat dikaitkan secara umum dengan variasi proses, tetapi tidak dapat ditentukan faktor dominannya karena temperatur tidak direkam secara kontinu dan konsumsi LPG serta laju aliran air pendingin tidak diukur. Oleh karena itu, pembahasan dibatasi pada kecenderungan data yang teramati. Untuk menunjukkan variasi hasil, simpangan baku sampel (SD) dihitung dengan $n-1$ sebagai

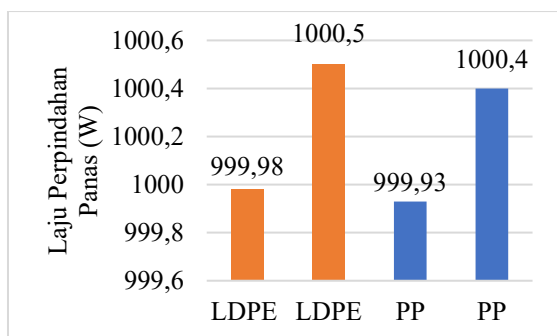
penyebut. Karena $n=2$ pada setiap material, SD digunakan hanya sebagai ukuran variasi deskriptif dan tidak digunakan untuk pengujian hipotesis.

Pada material PP, pengujian pertama menghasilkan 70 mL minyak dengan massa 50 g dan temperatur minyak $33,3^{\circ}\text{C}$, sedangkan pengujian kedua menghasilkan 65 mL, 45 g, dan $33,1^{\circ}\text{C}$. Nilai rata-rata volume minyak adalah $67,5$ mL, massa $47,5$ g, dan temperatur minyak $33,2^{\circ}\text{C}$, dengan simpangan baku masing-masing $3,54$ mL, $3,54$ g, dan $0,14^{\circ}\text{C}$. Dibandingkan LDPE, rata-rata volume dan massa minyak PP lebih tinggi masing-masing 5 mL dan 5 g, tetapi kesimpulan tersebut dibatasi pada kondisi pengujian dan jumlah pengulangan yang digunakan.



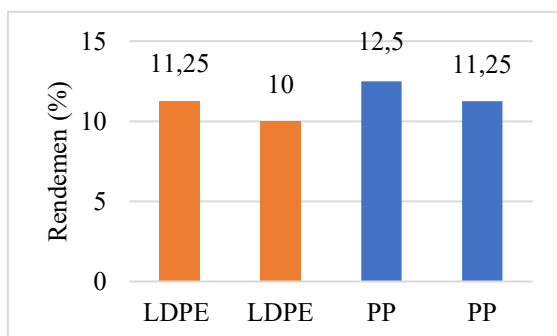
Gambar 5. Grafik Koefisien Perpindahan Panas

Grafik menunjukkan bahwa koefisien perpindahan panas berada pada rentang $73,36$ – $73,85$ $\text{W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$. LDPE menghasilkan $73,36$ dan $73,47$ $\text{W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$, dengan rata-rata $73,42$ $\text{W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$ dan SD $0,08$ $\text{W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$. PP menghasilkan $73,85$ dan $73,80$ $\text{W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$, dengan rata-rata $73,83$ $\text{W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$ dan SD $0,04$ $\text{W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$. Secara deskriptif, rata-rata h PP lebih tinggi sekitar $0,41$ $\text{W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$ atau sekitar $0,56\%$ dibandingkan LDPE. Temuan ini menunjukkan kecenderungan nilai h yang sedikit lebih tinggi pada PP pada kondisi pengujian yang dilakukan, tetapi tidak cukup untuk menyatakan keunggulan umum karena jumlah pengulangan hanya dua.



Gambar 6. Grafik Laju Perpindahan Panas

Grafik menunjukkan bahwa laju perpindahan panas kedua material berada pada rentang yang sangat berdekatan. LDPE menghasilkan 999,98 dan 1000,50 W, dengan rata-rata 1000,24 W dan SD 0,37 W. PP menghasilkan 999,93 dan 1000,40 W, dengan rata-rata 1000,17 W dan SD 0,33 W. Secara deskriptif, rata-rata q LDPE sedikit lebih tinggi 0,07 W dibandingkan PP. Karena tidak dilakukan uji statistik, istilah “tidak berbeda secara signifikan” tidak digunakan. Kedekatan nilai q menunjukkan bahwa pada kondisi pengujian ini laju perpindahan panas yang dihitung relatif serupa, sedangkan perbedaan kecil pada h dan rendemen perlu ditafsirkan secara hati-hati.



Gambar 7. Grafik Rendemen

Berdasarkan grafik rendemen, LDPE menghasilkan 11,25% dan 10,00%, dengan rata-rata 10,63% dan SD 0,88%. PP menghasilkan 12,50% dan 11,25%, dengan rata-rata 11,88% dan SD 0,88%. Dengan demikian, rata-rata rendemen PP lebih tinggi 1,25 poin persentase dibandingkan LDPE pada kondisi pengujian yang sama. Kecenderungan tersebut sejalan dengan rata-rata volume dan massa minyak yang

lebih tinggi pada PP. Namun, karena masing-masing material hanya diuji dua kali dan tidak dilakukan uji statistik, hasil ini hanya menunjukkan kecenderungan pada kondisi eksperimen yang dilakukan dan tidak dapat digeneralisasi sebagai keunggulan PP secara umum.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, mesin pirolisis yang dirancang mampu menjalankan pengujian LDPE dan PP pada temperatur reaktor 250°C selama 120 menit dan menghasilkan minyak cair pada kedua material. Dengan dua pengulangan untuk setiap material, LDPE menghasilkan rata-rata volume 62,5 mL, massa 42,5 g, dan rendemen 10,63%, sedangkan PP menghasilkan rata-rata volume 67,5 mL, massa 47,5 g, dan rendemen 11,88%. Koefisien perpindahan panas rata-rata PP sebesar 73,83 W/m²·°C lebih tinggi daripada LDPE sebesar 73,42 W/m²·°C, sedangkan laju perpindahan panas rata-rata relatif berdekatan, yaitu 1000,17 W pada PP dan 1000,24 W pada LDPE. Dengan demikian, pada kondisi pengujian dan jumlah pengulangan yang terbatas, PP menunjukkan kecenderungan menghasilkan rendemen dan koefisien perpindahan panas yang lebih tinggi, sementara laju perpindahan panas berada pada tingkat yang hampir sama. Penelitian selanjutnya perlu menambah jumlah pengulangan, mencatat temperatur secara kontinu, mengukur konsumsi LPG dan aliran air pendingin, serta mendokumentasikan spesifikasi dan ketidakpastian instrumen agar evaluasi kinerja dapat dilakukan secara lebih kuat.

Referensi

- [1] I. H. S. I Made Yudana Yasa, “PENGARUH JUMLAH LILITAN PIPA KONDENSOR TERHADAP KUANTITAS MINYAK PIROLISIS SAMPAH PLASTIK,” *JTM*, vol. 11, no. 1, pp. 71–78, 2023.
- [2] M. H. Nindi Putri Guswira, Harpito,

- Anwardi, Nofirza, Muhammad Ihsan Hamdy, "Perancangan Alat Destilasi Untuk Mengubah Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak Prospektif Melalui Proses Pirolisis Bertingkat," *JRI*, vol. 6, no. 1, pp. 9–18, 2024.
- [3] D. S. Popo Mustopa, Zenal Abidin, "UJI ALAT PENGUBAH LIMBAH SAMPAH PLASTIK MENJADI BAHAN BAKAR BIO SOLAR," *JMMG*, vol. 4, no. 1, 2026.
- [4] I. R. A. Jurnal, T. Mesin, R. Arif, and T. Subagyo, "Perancangan Alat Pirolisis Limbah Plastik Menjadi Bahan Bakar Alternatif Design of a Plastic Waste Pyrolysis Tool to Become an Alternative Fuel," *IRAJTMA*, vol. 4, no. 3, pp. 305–311, 2025.
- [5] F. B. H. Dominggus G. H. Adoe1, Defmit B.N Riwu, "Rancang Bangun Alat Pirolisis Reaktor Tabung Bertingkat untuk Daur Ulang Sampah Plastik Polypropylene (PP) dengan Menggunakan Metode VDI 2221," *LJTMU*, vol. 09, no. 01, pp. 90–100, 2022.
- [6] M. Ardika Rendi Hadi Ansyah, Hisyam Ma'mun, "Rancang Bangun Mesin Konversi Sampah Plastik Menjadi Minyak Mentah Melalui Proses Pirolisis Dengan Variasi Material Plastik PP Dan LDPE," *JuKSIT*, vol. 5, no. 1, pp. 339–351, 2026, doi:<https://doi.org/10.69688/juksit.v5i1.212>.
- [7] M. Syahrul Gunawan, M. Muharom, M. H. Abdullah, F. Gemala Dewi, A. Jaya Suwondo, and O. Purnamayudhia, "Perancangan Proses Kondensasi Pada Pengolahan Limbah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak Menggunakan Sistem Pirolisis Dengan Kapasitas 10 Liter," *J. Syst. Eng. Technol. Innov.*, vol. 1, no. 02, pp. 65–70, 2022, doi: 10.38156/jisti.v1i02.28.
- [8] G. P. N. B. S. Rahayu Purwanti, Rouf Muhammad, Hamid Ramadhan Nur, Muhammad Nurtanto, Tri Widodo Besar Riyadi, Desi Gustiani, Muhamad Safi'i, "Effect of Combustion Power Levels and Operational Pressures in the Pyrolysis Gas-Fired Industrial Burners : A Numerical Analysis †," *Eng. Proc.*, vol. 5, no. 137, pp. 2–9, 2026.
- [9] Azis and Hanizah, "Journal of Chemical Process Engineering Produksi Bahan Bakar Cair Dari Limbah Plastik Polypropylene (PP)," *J. Chem. Process Eng. Vol.*, vol. 6, no. 2655, 2021.
- [10] P. W. N. Elsa Meilia Mayora, Arifin, "Pirolisis Limbah Plastik Jenis Low Density Polyethylene (LDPE) dan Polypropylene (PP) Menggunakan Katalis Zeolit Alam," *J. Teknol. Lingkung. Lahan Basah*, vol. 11, no. 3, pp. 773–779, 2023, doi: 10.26418/jtlb.v11i3.69221.
- [11] R. M. F. Senki Desta Galuh Latifa Mirzatika Al-Rosyid, Itsbatun Nawafil, "Evaluasi Pirolisis Sampah Plastik Rumah Tangga dengan Reaktor Listrik 2000 Watt dalam Kerangka Ekonomi Sirkular," *Pros. Semin. Nas. Tek. Lingkung. UII 2025*, vol. 1, no. September, pp. 1–7, 2025, [Online]. Available: <https://conference.uui.ac.id/sntl/paper/view/39>
- [12] A. S. S. Juliya Ascha Riandis, Agus Restu Setyawati, "Pirolisis Menjadi Bahan Bakar Minyak Plastic Waste Processing Using Pyrolysis Method Into Fuel Oil," *J. Chemurg.*, vol. 05, no. 200, pp. 8–14, 2021, [Online]. Available: <http://e-journals.unmul.ac.id/index.php/TK%0A>
- [13] Ainun Nadiya Alya Salsabila and

- Kusmiyati, “Optimasi Proses Pirolisis Pada Sampah Plastik LDPE (Low Density Polythylene) Menggunakan Pendekatan RSM (Response Surface Methodology) Menjadi Bahan Bakar Minyak,” *J. Teknol. dan Manaj. Ind. Terap.*, vol. 4, no. 3, pp. 976–983, 2025, doi: 10.55826/jtmit.v4i3.1078.
- [14] F. A. A. Andi Hairil Alimuddin, “Potensi Penambahan Nilai Ekonomi Pada Konversi Sampah Plastik Nonekonomis Menjadi Bahan Bakar Minyak Alternatif Dengan Proses Pirolisis,” *J. Teknol. Lingkung. Lahan Basah*, vol. 5, no. 1, pp. 1–10, 2017, doi: 10.26418/jtllb.v5i1.22174.
- [15] Indah Pratiwi, “Rancang Bangun Alat Konversi Limbah Plastik Menjadi Bahan Bakar Melalui Pirolisis,” *J. Multidisiplin Dehasen*, vol. 1, no. 3, pp. 425–430, 2022, doi: 10.37676/mude.v1i3.2710.