

**Ranah Research**

E-ISSN: 2655-0865

**Journal of Multidisciplinary Research and Development**

082170743613

ranahresearch@gmail.com

<https://jurnal.ranahresearch.com>DOI: <https://doi.org/10.38035/rj>  
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

## Pemanfaatan Sampah Plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) dan PP (*Polypropylene*) Menggunakan Proses Pirolisis menjadi Bahan Bakar Minyak

**Ahmad Taufiq Hidayat<sup>1</sup>, Kusmiyati<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Program Studi Teknik Industri, Universitas Dian Nuswantoro<sup>2</sup>Program Studi Teknik Industri, Universitas Dian NuswantoroCorresponding Author: [kusmiyati@dsn.dinus.ac.id](mailto:kusmiyati@dsn.dinus.ac.id)

**Abstract:** *The accumulation of plastic waste becomes a serious environmental problem if not processed properly. This study aims to process plastic waste of the Polyethylene Terephthalate and Polypropylene types into liquid fuel through the pyrolysis process. The experimental method was used with the independent variable being pyrolysis time, while the dependent variable was the volume of oil produced. The results showed that the total volume of oil from PET reached 8600 ml with the highest yield at 90 minutes of 7000 ml. Meanwhile, PP produced a total of 650 ml of oil, with an insignificant increase in volume even though the temperature and time were increased. The temperature increase in PP was higher than PET, but the volume of oil produced was smaller. The residue from PP pyrolysis still left plastic residue, indicating that this material requires a higher temperature or a longer pyrolysis duration to decompose completely. These results indicate that PET is more easily decomposed than PP, making it more efficient in the pyrolysis process into fuel oil. From the statistical test, the correlation value of PET and PP 1,000 with a significance level of 0.000 less than 0.05 indicates a very strong level of relationship. In addition, the normality test using the Shapiro-Wilk method that PET and PP data are normally distributed with a significance value of 1,000 more than 0.05. The t value of the statistical results is 24.249 for PET and 19.919 for PP with a significance level of 0.002 and 0.003 respectively which are less than 0.05 with 95% confidence, that PET has greater potential in the production of liquid fuel through pyrolysis.*

**Keyword:** *Pyrolysis, fuel oil, polyethylene terephthalate, polypropylene*

**Abstrak:** Penumpukan sampah plastik menjadi masalah lingkungan yang serius jika tidak diolah dengan baik. Penelitian ini bertujuan untuk mengolah sampah plastik jenis *Polyethylene Terephthalate* dan *Polypropylene* menjadi bahan bakar cair melalui proses pirolisis. Metode eksperimental digunakan dengan variabel bebas berupa waktu pirolisis, sedangkan variabel terikat adalah volume minyak yang dihasilkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa total volume minyak dari PET mencapai 8600 ml dengan rendemen tertinggi pada 90 menit sebesar 7000 ml. Sementara itu, PP menghasilkan minyak total 650 ml, dengan peningkatan volume yang tidak signifikan meskipun suhu dan waktu ditingkatkan. Kenaikan suhu pada PP lebih tinggi dibandingkan PET, tetapi volume minyak yang dihasilkan lebih kecil. Residu dari

pirolisis PP masih menyisakan sisa plastik, menunjukkan bahwa bahan ini membutuhkan suhu yang lebih tinggi atau durasi pirolisis yang lebih lama untuk terdekomposisi sempurna. Hasil ini menunjukkan bahwa PET lebih mudah terurai dibandingkan PP, sehingga lebih efisien dalam proses pirolisis menjadi bahan bakar minyak. Dari uji statistika nilai korelasi PET dan PP 1,000 dengan tingkat signifikansi 0,000 kurang dari 0,05 menunjukkan tingkat hubungan yang sangat kuat. Selain itu, uji normalitas menggunakan metode *Shapiro-Wilk* bahwa data PET dan PP berdistribusi normal dengan nilai signifikansi 1,000 lebih dari 0,05. Nilai t dari hasil statistik sebesar 24,249 untuk PET dan 19,919 untuk PP dengan tingkat signifikansi masing-masing 0,002 dan 0,003 yang kurang dari 0,05 dengan kepercayaan 95%, bahwa PET memiliki potensi lebih besar dalam produksi bahan bakar cair melalui pirolisis.

**Kata Kunci:** Pirolisis, bahan bakar minyak, *polyethylene terephthalate*, *polypropylene*

## PENDAHULUAN

Sampah merupakan limbah yang dihasilkan dari aktivitas manusia dan makhluk hidup lainnya. Jika tidak dikelola dengan baik, sampah dapat mencemari lingkungan, mengganggu keseimbangan ekosistem, dan menyebabkan berbagai permasalahan lingkungan (Udyani *et al.*, 2018). Sampah secara umum diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu organik dan anorganik. Sampah organik berasal dari sisa makhluk hidup seperti daun, sayur, dan buah-buahan yang dapat terurai secara alami. Sementara itu, sampah anorganik, seperti plastik, kaleng, dan logam, sulit terurai dan membutuhkan waktu yang sangat lama untuk mengalami degradasi alami (Ibnul Rasidi *et al.*, 2022). Sampah plastik menjadi salah satu jenis limbah yang mengalami peningkatan signifikan setiap tahunnya. Material ini digunakan secara luas dalam berbagai industri karena sifatnya yang ringan, kuat, dan ekonomis. Namun, sifatnya yang sulit terurai menyebabkan pencemaran lingkungan yang serius.

Indonesia masih bergantung pada impor bahan bakar minyak karena konsumsi yang lebih tinggi dibandingkan produksi dalam negeri. Oleh karena itu, inovasi dalam pemanfaatan sumber energi alternatif, seperti minyak hasil pirolisis plastik, menjadi solusi potensial untuk mengurangi ketergantungan terhadap impor BBM (Choriliah *et al.*, 2019). Data dari Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) Kementerian Lingkungan Hidup Dan Kehutanan (KLHK) timbulan sampah pada tahun 2024 timbulan sampah mencapai 30,1 juta ton yang dikelola 60,22% atau 18 juta ton, sedangkan sisanya 39,38% atau 11 juta ton. Pemerintah Indonesia merencanakan target Indonesia Bersih Sampah 2025, melalui 30% pengurangan sampah dan 70% penanganan sampah pada tahun 2025. Oleh karena itu, diperlukan pengolahan sampah plastik menjadi bahan bakar akan sangat bermanfaat untuk mengimbangi antara kebutuhan manusia dengan banyaknya ketersediaan sampah plastik yang ada (Putri *et al.*, 2023).

Plastik merupakan material sintetis yang terdiri dari rantai panjang karbon dan elemen lain yang dapat dibentuk menjadi berbagai ukuran dan bentuk. Secara umum, plastik dikategorikan sebagai polimer yang memiliki ketahanan tinggi terhadap degradasi lingkungan (Abiyyu Haidar *et al.*, 2023). Berdasarkan sifatnya, plastik dibagi menjadi dua jenis, yaitu *thermoplastic* dan *thermoset*. *Thermoplastic*, seperti *Polyethylene* (PE), *Polypropylene* (PP), dan *nylon*, dapat dilelehkan dan digunakan kembali. Sebaliknya, *thermoset*, seperti *phenol formaldehyde* dan *urea formaldehyde*, tidak dapat dilelehkan setelah mengalami pematangan, sehingga sulit didaur ulang (Khoironi *et al.*, 2024).

Plastik memiliki beberapa jenis salah satunya *Polyethylene Terephthalate* (PET) dan *Polypropylen* (PP). Plastik jenis PET memiliki karakteristik jenis transparan dan sering digunakan dalam pembuatan botol air mineral, botol jus, serta kemasan minuman lainnya. Salah satu sifat utama PET adalah *non-biodegradable*, yang berarti plastik ini tidak dapat terurai secara alami oleh mikroorganisme dalam waktu yang singkat (Azis & Rante, 2021). Hal

ini menyebabkan PET berkontribusi terhadap pencemaran lingkungan, terutama jika tidak dikelola dengan sistem daur ulang yang baik. Di sisi lain, PP merupakan salah satu jenis plastik yang paling banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Plastik PP memiliki sifat keras namun fleksibel dan kuat, sehingga sering diaplikasikan dalam pembuatan mainan anak, toples, serta berbagai peralatan rumah tangga (Kholiq, 2012). Meskipun lebih tahan terhadap panas dan memiliki daya tahan tinggi, PP juga termasuk dalam kategori plastik yang sulit terurai secara alami, meskipun lebih dapat didaur ulang dibandingkan PET (Rokhim *et al.*, 2020).

Plastik menjadi bahan utama dalam berbagai industri karena biaya produksi yang rendah dan sifatnya yang serbaguna (Prasetiawan *et al.*, 2023). Namun, peningkatan konsumsi plastik tanpa pengelolaan yang tepat menyebabkan akumulasi limbah yang mencemari lingkungan. Salah satu solusi yang dapat diterapkan untuk mengurangi limbah plastik adalah pirolisis, yaitu proses konversi termal yang mengubah plastik menjadi bahan bakar minyak (Herliati *et al.*, 2019). Pirolisis adalah proses dekomposisi termal bahan organik pada suhu tinggi dalam kondisi minim oksigen. Proses ini menghasilkan tiga produk utama, yaitu minyak pirolisis (*bio-oil*), gas pirolisis (*syngas*), dan residu karbon (*char*) (Ridhuan & Suranto, 2017). Teknologi ini menawarkan solusi inovatif dalam pemanfaatan limbah plastik untuk menghasilkan bahan bakar alternatif (Haris *et al.*, 2021). Bahan bakar minyak (BBM) merupakan sumber energi utama yang kebutuhannya terus meningkat. Untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil, diperlukan alternatif energi terbarukan, salah satunya adalah minyak hasil pirolisis plastik. Teknologi ini berpotensi mengurangi limbah plastik sekaligus menghasilkan energi yang dapat digunakan kembali (Kusmiyati *et al.*, 2019).

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengeksplorasi pirolisis plastik PET dan PP. Namun, suhu pirolisis yang terlalu tinggi dapat menyebabkan degradasi termal yang berlebihan, menghasilkan lebih banyak residu karbon dan gas pirolisis. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efisiensi pirolisis PET dan PP dengan variasi suhu dan waktu yang lebih optimal dalam menghasilkan bahan bakar minyak (Novia, 2021). Pada penelitiannya suhu pirolisis yang digunakan 270-300°C, suhu tersebut cukup tinggi menyebabkan degradasi termal yang tidak terkendali, menghasilkan lebih banyak residu karbon dan gas pirolisis, yang pada akhirnya dapat menurunkan rendemen minyak. Sementara itu, penelitian sebelumnya menggunakan jenis plastik PP (Azis & Rante, 2021). Pada penelitiannya suhu pirolisis 200-450°C, suhu tinggi mendekati 450°C menyebabkan peningkatan pembentukan gas pirolisis, yang mengurangi efisiensi konversi minyak. Penelitian ini menggunakan suhu yang berbeda pada proses pirolisis dengan suhu 70–130°C dengan jenis PET bisa menghasilkan minyak. Sementara untuk penelitian ini dengan jenis PP menggunakan suhu 100-150°C minyak berhasil keluar. Penelitian ini memberikan kontribusi baru dengan mengeksplorasi efektivitas pirolisis pada suhu yang lebih rendah dibandingkan penelitian sebelumnya. Penggunaan suhu yang lebih rendah dalam proses pirolisis berpotensi mengurangi konsumsi energi menggunakan suhu lebih tinggi. Hal ini dapat memberikan manfaat dalam efisiensi energi serta keberlanjutan proses produksi minyak dari limbah plastik. Tujuan dari penelitian ini mencoba memberikan wawasan baru dengan meneliti variasi suhu dan waktu pada jenis plastik yang sama untuk melihat efisiensi proses pirolisis dalam pemanfaatan sampah plastik menjadi bahan bakar minyak.

## **METODE PENELITIAN**

### **Karakteristik bahan sampah plastik PET dan PP**

Tabel 1 menunjukkan bahwa sampah plastik yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari PET yang berasal dari botol air mineral dan PP bahan plastik mainan. Setiap plastik memiliki berat 7,5 Kg setiap satu kali proses ke dalam proses pirolisis.

Tabel 1. Bahan penelitian

Jenis Plastik	Gambar	Berat (Kg)
<i>Polyethylene Terephthalate</i>		7,5
<i>Polypropylen</i>		7,5

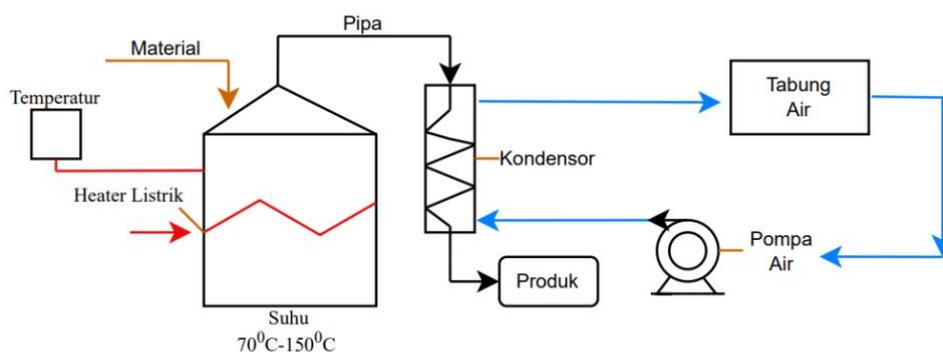
### Alat dan Bahan Penelitian

Penelitian ini menggunakan berbagai alat untuk mendukung proses pirolisis. Alat utama yang digunakan adalah reaktor pirolisis yang dilengkapi dengan kondensor untuk mendinginkan uap minyak. Termometer untuk memantau suhu selama proses, sedangkan tabung penampung minyak digunakan untuk mengumpulkan hasil pirolisis.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi 7,5 kg setiap satu kali proses yang dilakukan 3 kali pengujian, gas LPG sebagai sumber panas, air sebagai pendingin dalam kondensor, serta bahan tambahan seperti pompa air, air sabun untuk mengecek kebocoran sebelum proses pirolisis. Pengukuran hasil dilakukan menggunakan gelas ukur.

### Cara Kerja

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental melalui beberapa tahap, yaitu pembersihan, persiapan bahan, proses pirolisis, dan pengukuran hasil. Sampah plastik dicuci menggunakan sabun cair untuk menghilangkan kotoran, lalu dikeringkan di bawah sinar matahari sebelum dicacah menjadi ukuran  $\pm 3$  cm. Setelah dikeringkan, plastik dicacah menjadi potongan kecil berukuran  $\pm 3$  cm agar mempermudah proses pirolisis. Plastik kemudian dimasukkan ke dalam reaktor dan dipanaskan menggunakan kompor gas LPG hingga mencapai suhu  $70-150^{\circ}\text{C}$ . Air dialirkan ke dalam kondensor menggunakan pompa air yang bekerja secara kontinu untuk menjaga suhu tetap stabil selama proses pendinginan uap minyak. Struktur dan cara kerja alat pirolisis yang digunakan dalam penelitian ini ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema Proses Pirolisis

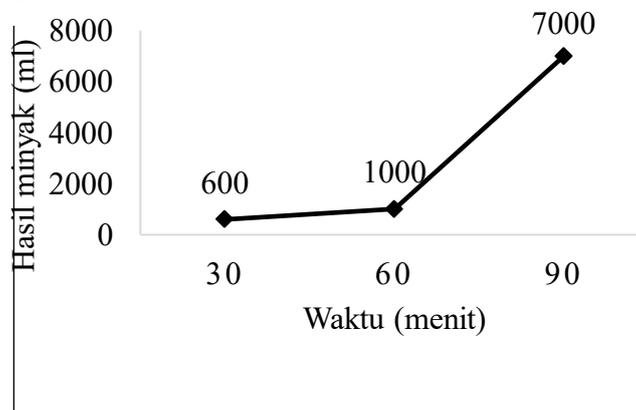
### Analisis Data Uji Statistik

Analisis data dalam penelitian ini dilakukan menggunakan uji statistik untuk mengevaluasi minyak yang dihasilkan dari PET dan PP pada waktu 90 menit. Uji t digunakan untuk membandingkan perbedaan rata-rata hasil minyak antara PET dan PP guna mengetahui apakah terdapat perbedaan signifikan kedua plastik. Selanjutnya, uji korelasi digunakan untuk menganalisis hubungan antara waktu dengan jumlah minyak yang dihasilkan, sehingga dapat diketahui sejauh mana waktu mempengaruhi hasil minyak dari masing-masing plastik. Selain itu, uji normalitas dilakukan untuk menguji apakah data hasil minyak memiliki distribusi normal.

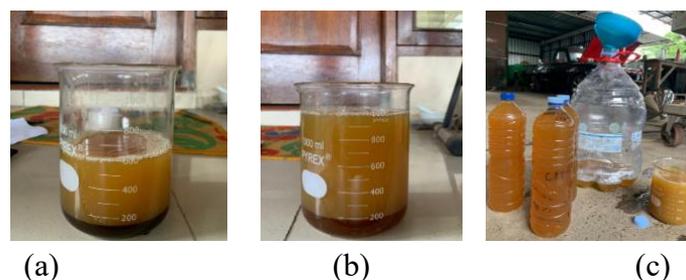
## HASIL PENELITIAN

### Hasil pengujian jenis sampah plastik PET

Gambar 2 menunjukkan hubungan antara waktu pirolisis dan volume minyak yang dihasilkan dari plastik. Pada rata-rata dari 3 kali pengujian dalam waktu 30 menit mendapatkan hasil minyak 600 ml, waktu 60 menit hasil minyak 1000 ml, dan waktu 90 menit mencapai 7000 ml. Warna minyak PET lebih kuning terang. Gambar 3 menampilkan hasil minyak yang diperoleh dari pirolisis plastik PET.



Gambar 2. Rata-rata hasil pengaruh waktu pirolisis PET

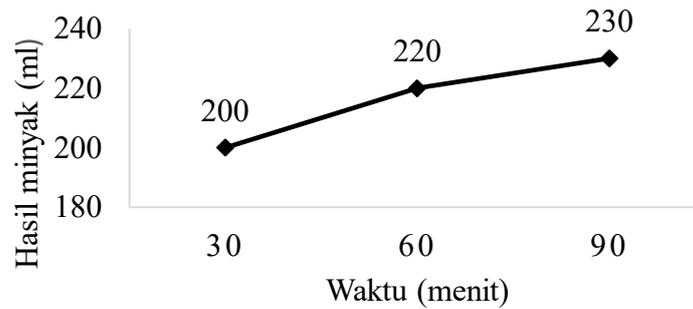


Gambar 3. Minyak hasil pirolisis sampah PET

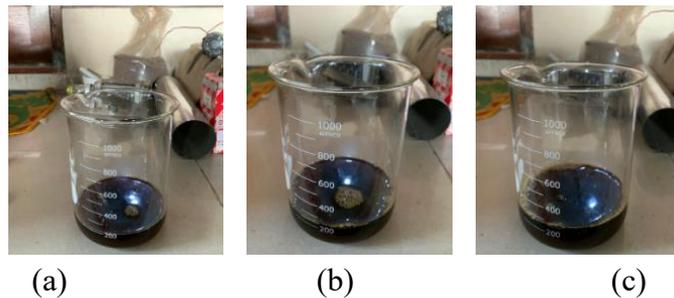
Gambar 3 (a) Rata-rata hasil minyak jenis sampah PET dalam waktu 30 menit suhu 70<sup>0</sup>-80<sup>0</sup>C hasil minyak 600 ml, (b) waktu 60 menit suhu 70<sup>0</sup>-100<sup>0</sup>C hasil minyak 1000 ml, (c) waktu 90 menit suhu 70<sup>0</sup>-130<sup>0</sup>C hasil minyak 7000 ml.

### Hasil Pengujian jenis sampah plastik PP

Gambar 4 menunjukkan pengaruh waktu pirolisis terhadap volume minyak yang dihasilkan dari plastik PP. Pada rata-rata dari 3 kali pengujian dalam waktu 30 menit hasil minyak 200 ml, waktu 60 menit hasil minyak 220 ml, dan waktu 90 menit didapatkan hasil minyak 230 ml. Warna minyak PP memiliki warna kehitaman. Hasil minyak dari sampah plastik PP dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 4. Rata-rata hasil pengaruh waktu pirolisis PP

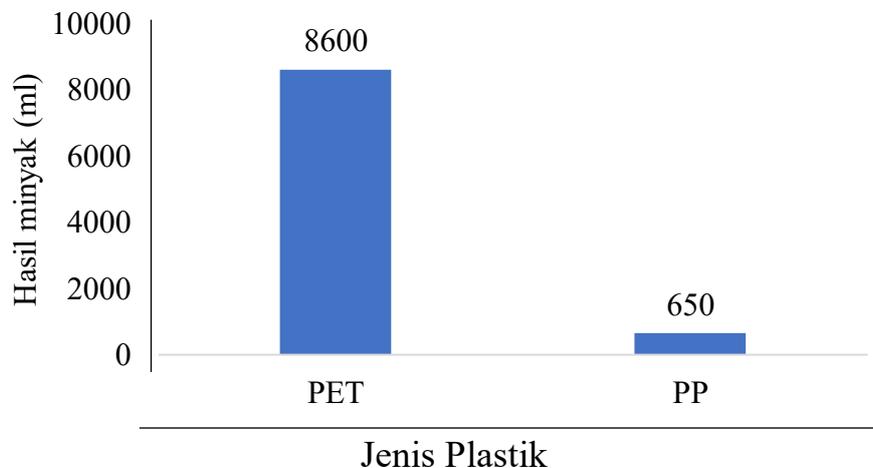


Gambar 5. Minyak hasil pirolisis sampah PP

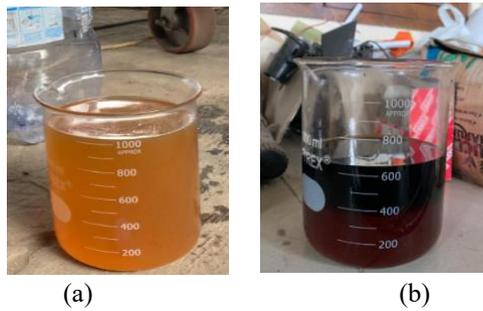
Gambar 5 (a) Rata-rata hasil minyak jenis PP dengan waktu 30 menit suhu 100<sup>0</sup>-110<sup>0</sup>C hasil minyak 200 ml, (b) waktu 60 menit suhu 100<sup>0</sup>-130<sup>0</sup>C hasil minyak 220 ml, (c) waktu 90 menit suhu 100<sup>0</sup>-150<sup>0</sup>C hasil minyak 230 ml.

### Perbandingan hasil minyak PET dan PP

Gambar 6 menunjukkan perbandingan hasil rata-rata 3 kali pengujian minyak pirolisis dari plastik PET dan PP. Hasil minyak PET 8600 ml, dengan rincian 600 ml dari rata-rata pengujian pertama 30 menit suhu 70-80<sup>0</sup>C, 1000 ml dari rata-rata 60 menit suhu 70-100<sup>0</sup>C, dan 7000 ml dari rata-rata 90 menit suhu 70-130<sup>0</sup>C. Sebaliknya, minyak yang diperoleh PP hasil minyak 650 ml, dengan rincian 200 ml dari rata-rata 30 menit suhu 100-110<sup>0</sup>C, 220 ml dari rata-rata 60 menit suhu 100-130<sup>0</sup>C, 230 ml dari rata-rata 90 menit suhu 100-150<sup>0</sup>C. Selain itu, minyak hasil pirolisis PET memiliki warna kuning terang, sedangkan minyak dari PP cenderung berwarna kehitaman. Hasil minyak PET dan PP dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 6. Perbandingan rata-rata volume minyak dari plastik PET dan PP



Gambar 7. Hasil minyak (a) PET (b) PP

### Perbandingan padatan residu plastik PET dan PP

Tabel 2 membandingkan residu dan bau hasil pirolisis plastik PET dan PP. Residu dari pirolisis PET cenderung berbentuk arang dan memiliki aroma menyerupai solar, menunjukkan bahwa proses konversi minyak berlangsung secara efektif Gambar 8. Sebaliknya, residu dari plastik PP masih meninggalkan sisa padatan yang menyerupai plastik, menandakan bahwa PP tidak sepenuhnya terdekomposisi dalam kondisi pirolisis yang digunakan. Hal ini disebabkan oleh sifat PP yang lebih tahan terhadap panas dibandingkan PET. Residu pirolisis plastik PP dapat dilihat pada Gambar 9.

Tabel 2. Perbandingan bau dan residu PET dan PP

Bahan	Bau	Residu
PET	Solar	arang
PP	Solar	masih jenis plastik



Gambar 8. Hasil residu dari pirolisis PET



Gambar 9. Hasil residu dari pirolisis PP

### Perbandingan hasil pirolisis PET dan PP

Tabel 3 menjelaskan hasil PET dan PP dalam proses pirolisis. Proses pirolisis pada sampel PET I dengan massa 7,5 kg yang dipirolisis pada suhu 70–80°C selama 30 menit, volume minyak yang dihasilkan berkisar antara 580–620 ml dengan rata-rata 600 ml dan rendemen sebesar 8%, menghasilkan total rata-rata minyak 8600 ml. Sementara itu, PET II yang mengalami pirolisis pada suhu 70–100°C selama 60 menit menghasilkan minyak antara 900–1100 ml dengan rata-rata 1000 ml dan rendemen sebesar 13%. PET III, yang diproses pada suhu 70–130°C selama 90 menit, menghasilkan minyak yang lebih tinggi, yaitu 6500–

7500 ml dengan rata-rata 7000 ml dan rendemen tertinggi sebesar 93%. Sebaliknya, pirolisis PP menunjukkan hasil yang lebih rendah dibandingkan PET. Pada PP I yang dipirolisis pada suhu 100–110°C selama 30 menit, minyak yang dihasilkan berkisar antara 150–250 ml dengan rata-rata 200 ml dan rendemen 2,6%, menghasilkan total rata-rata minyak 650 ml. PP II yang dipirolisis pada suhu 100–130°C selama 60 menit menghasilkan minyak dalam kisaran 200–240 ml dengan rata-rata 220 ml dan rendemen sebesar 2,9%. Sedangkan PP III yang dipirolisis pada suhu 100–150°C selama 90 menit menghasilkan minyak antara 210–250 ml dengan rata-rata 230 ml dan rendemen 3%. Dari hasil ini, dapat disimpulkan bahwa pirolisis PET memberikan hasil minyak yang jauh lebih tinggi dibandingkan PP, dengan rendemen optimal tercapai pada suhu dan waktu reaksi yang lebih tinggi, khususnya pada PET III. Hal ini menunjukkan bahwa PET memiliki potensi lebih besar dalam produksi minyak pirolisis dibandingkan PP dalam kondisi pirolisis yang diberikan. Perbedaan hasil minyak bisa disebabkan karena pemilihan jenis bahan baku yang berbeda, kemungkinan disebabkan oleh perbedaan senyawa kimia pada bahan baku tersebut. Proses pirolisis pada plastik PET menunjukkan efisiensi yang jauh lebih tinggi dalam menghasilkan volume minyak dibandingkan jenis PP.

**Tabel 3. Perbandingan hasil pirolisis PET dan PP**

Sampel	Massa (Kg)	Suhu (C)	Waktu (menit)	Hasil minyak PET dan PP (ml)	Rata-rata hasil minyak (ml)	Rendemen (%)	Total rata-rata hasil minyak PET dan PP (ml)
PET I	7,5	70-80	30	580	600	8	8600
		70-80	30	620			
		70-80	30	600			
PET II	7,5	70-100	60	900	1000	13	
		70-100	60	1000			
		70-100	60	1100			
PET III	7,5	70-130	90	6500	7000	93	
		70-130	90	7000			
		70-130	90	7500			
PP I	7,5	100-110	30	150	200	2,6	650
		100-110	30	200			
		100-110	30	250			
PP II	7,5	100-130	60	200	220	2,9	
		100-130	60	220			
		100-130	60	240			
PP III	7,5	100-150	90	210	230	3	
		100-150	90	230			
		100-150	90	250			

$$\text{Rendemen} = \left( \frac{\text{Volume minyak yang dihasilkan}}{\text{Berat plastik}} \right) \times 100 \% \tag{1}$$

$$\begin{aligned} \text{Rendemen PET I} &= \left( \frac{0,6}{7,5} \right) \times 100 \% \\ &= 8 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rendemen PET II} &= \left( \frac{1}{7,5} \right) \times 100 \% \\ &= 13 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rendemen PET III} &= \left( \frac{7}{7,5} \right) \times 100 \% \\ &= 93 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rendemen PP I} &= \left( \frac{0,2}{7,5} \right) \times 100 \% \\ &= 2,6 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rendemen PET II} &= \left( \frac{0,220}{7,5} \right) \times 100 \% \\ &= 2,9 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rendemen PET III} &= \left(\frac{0,230}{7,5}\right) \times 100 \% \\ &= 3 \% \end{aligned}$$

**Uji statistik (Uji normalitas)**

Tabel 4 menunjukkan hasil uji normalitas dari data PET dan PP pada waktu 90 menit menggunakan *software SPSS* metode Shapiro-Wilk menunjukkan bahwa data PET dan PP memiliki nilai signifikansi sebesar 1,000. Nilai ini lebih besar dari tingkat signifikansi 0,05. Dikarenakan nilai *Sig* lebih dari 0,05 maka data tersebut berdistribusi normal.

**Tabel 4. Hasil perhitungan uji normalitas**

Tests of Normality						
WAKTU	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
PET 90	.175	3	.	1.000	3	1.000
PP 90	.175	3	.	1.000	3	1.000

a. Lilliefors Significance Correction

**Uji statistik (Uji - t)**

Tabel 5 memperlihatkan hasil uji t dari data PET dan PP pada waktu 90 menit menggunakan *software SPSS*, diperoleh bahwa nilai t untuk PET adalah 24,249 dengan *sig* sebesar 0,002, sedangkan untuk PP nilai t adalah 19,919 dengan *sig* sebesar 0,003. Kedua nilai *sig* lebih kecil dari 0,05, yang menunjukkan bahwa perbedaan rata-rata hasil minyak yang dihasilkan dari PET dan PP signifikan secara statistik. Rata-rata hasil minyak dari PET mencapai 7000 ml dengan interval kepercayaan 95% berada pada rentang 5757,93 hingga 8242,07 ml, sedangkan hasil minyak dari PP rata-rata sebesar 230 ml dengan interval kepercayaan 180,32 hingga 279,68 ml. Interval kepercayaan yang tidak mencakup nol mengindikasikan bahwa hasil yang diperoleh memiliki tingkat kepastian yang tinggi. Dari hasil ini, bahwa konversi minyak dari PET jauh lebih tinggi dibandingkan dengan PP, sehingga PET memiliki potensi lebih besar dalam proses pirolisis atau pengolahan limbah plastik menjadi bahan bakar cair.

**Tabel 5. Hasil perhitungan uji t**

One-Sample Test						
Test Value = 0						
t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference		
				Lower	Upper	
PET	24.249	2	.002	7000.000	5757.93	8242.07
PP	19.919	2	.003	230.000	180.32	279.68

**Uji statistik (Uji korelasi)**

Tabel 6 memperlihatkan hasil uji korelasi dari data PET dan PP pada waktu 90 menit menggunakan *software SPSS* yang menunjukkan hubungan yang sangat kuat antara PP dan PET dengan nilai korelasi sebesar 1,000 yang menunjukkan korelasi sempurna antara keduanya. Selain itu, nilai signifikansi untuk hubungan antara PP dan PET adalah 0,000 < 0,05. Dikarenakan kurang dari 0,05 maka PET dan PP memiliki hubungan yang kuat. Namun, hasil uji korelasi juga menunjukkan bahwa variabel waktu tidak memiliki nilai korelasi dengan PP maupun PET, yang ditunjukkan dengan titik. Hal ini menunjukkan bahwa variabel waktu tidak memiliki hubungan statistik yang signifikan terhadap hasil minyak yang dihasilkan dari PET maupun PP.

**Tabel 6. Hasil perhitungan Uji korelasi**

<b>Correlations</b>				
		WAKTU	PP	PET
Pearson Correlation	WAKTU	1.000	.	.
	PP	.	1.000	1.000
	PET	.	1.000	1.000
Sig. (1-tailed)	WAKTU	.	.000	.000
	PP	.000	.	.000
	PET	.000	.000	.
N	WAKTU	3	3	3
	PP	3	3	3
	PET	3	3	3

## PEMBAHASAN

### Hasil pengujian minyak pirolisis plastik PET

Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil pirolisis plastik jenis PET. Pada PET I dengan waktu 30 menit, rata-rata hasil minyak yang dihasilkan adalah 600 ml dengan rendemen sebesar 8%. Sementara itu, PET II dengan waktu pirolisis 60 menit menunjukkan peningkatan hasil minyak menjadi 1000 ml dengan rendemen 13%. Peningkatan yang lebih signifikan terjadi pada PET III dengan waktu pirolisis 90 menit, menghasilkan rata-rata minyak sebesar 7000 ml dengan rendemen 93%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin lama waktu pirolisis, maka jumlah minyak yang dihasilkan cenderung meningkat, yang mengindikasikan proses degradasi polimer yang lebih optimal seiring bertambahnya durasi pirolisis. Dari penelitian yang dilakukan sebelumnya melakukan penelitian terhadap plastik PET menunjukkan bahwa pirolisis plastik PET selama 45 menit hanya menghasilkan 190 ml minyak, sedangkan dalam 50 menit total minyak yang diperoleh mencapai 240 ml. Hasil ini menunjukkan bahwa perbedaan waktu pirolisis berkontribusi secara signifikan terhadap volume minyak yang dihasilkan. Semakin lama waktu pirolisis, semakin tinggi volume minyak yang diperoleh, dengan tetap mempertimbangkan parameter suhu dan jenis reaktor yang digunakan (Wicaksono & Arijanto, 2017). Perbedaan waktu pirolisis menunjukkan kontribusi terhadap perbedaan hasil minyak. Semakin lama waktu pirolisis, semakin banyak minyak yang dapat diperoleh, meskipun efisiensi perolehan minyak dapat berbeda tergantung pada parameter seperti suhu dan jenis reaktor. Sementara itu, penelitian sebelumnya melakukan penelitian terhadap plastik PET, menunjukkan hasil yang berbeda, di mana 500 gram plastik PET yang dipirolisis selama 6 jam hanya menghasilkan 90 ml minyak (Novia, 2021). Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti perbedaan suhu pirolisis, jenis reaktor, atau laju pemanasan yang digunakan. Dari perbandingan ini, durasi pirolisis memainkan peran penting dalam hasil perolehan minyak, tetapi parameter lain juga harus diperhatikan untuk meningkatkan efisiensi proses. Penggunaan suhu pirolisis yang lebih rendah dapat menghemat energi karena membutuhkan daya pemanasan yang lebih kecil serta mengurangi konsumsi bahan bakar yang digunakan dalam proses. Pada suhu yang lebih rendah, dekomposisi polimer tidak berlangsung secara sempurna, sehingga hasil minyak yang diperoleh cenderung lebih sedikit. Selain itu, suhu yang rendah dapat meningkatkan kandungan senyawa berat dalam minyak yang dihasilkan, yang memerlukan proses pemurnian lebih lanjut agar dapat digunakan sebagai bahan bakar. Di sisi lain, meskipun suhu tinggi dapat meningkatkan produksi minyak dengan kualitas yang lebih baik, terdapat kompromi terhadap efisiensi energi. Semakin tinggi suhu, semakin besar konsumsi energi yang diperlukan untuk memanaskan reaktor. Selain itu, pada suhu yang sangat tinggi, terjadi peningkatan pembentukan residu karbon yang dapat menurunkan efisiensi konversi bahan baku menjadi minyak. Oleh karena itu, diperlukan

keseimbangan antara suhu, waktu, dan efisiensi energi agar pirolisis dapat berjalan secara optimal (Novia, 2021).

### **Hasil pengujian minyak pirolisis plastik PP**

Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil pirolisis plastik jenis PP. Pada PP I dengan waktu pirolisis 30 menit, rata-rata hasil minyak yang diperoleh adalah 200 ml dengan rendemen 2,6%. Pada PP II dengan waktu 60 menit, hasil minyak meningkat menjadi 220 ml dengan rendemen 2,9%. Sementara itu, pada PP III dengan waktu pirolisis 90 menit, hasil minyak yang diperoleh mencapai rata-rata 230 ml dengan rendemen 3%. Peningkatan hasil minyak seiring bertambahnya durasi pirolisis menunjukkan bahwa waktu yang lebih lama memungkinkan proses degradasi polimer PP yang lebih efisien, sehingga meningkatkan konversi plastik menjadi minyak. Dari penelitian sebelumnya telah melakukan penelitian terhadap plastik PP. Pada penelitiannya mengenai pirolisis plastik PP menunjukkan bahwa dalam tiga tahap pemanasan selama masing-masing 60 menit, total minyak yang diperoleh hanya 300 ml. Hasil ini mendukung temuan bahwa pirolisis PP memiliki efisiensi rendah dalam menghasilkan minyak dibandingkan dengan PET, karena struktur polimernya yang lebih tahan terhadap panas (Rahmanpiu, 2019). Perbedaan hasil ini dapat disebabkan oleh faktor seperti kondisi awal bahan baku, di mana sampel plastik yang digunakan masih dalam kondisi basah. Kelembaban dalam bahan baku dapat memengaruhi suhu pirolisis dan efisiensi pemecahan rantai polimer, sehingga jumlah minyak yang diperoleh lebih rendah. Sedangkan penelitian sebelumnya melakukan penelitian terhadap plastik PP. Pada penelitiannya dilakukan 6 kali percobaan, waktu proses pirolisis pertama waktu 5 menit menghasilkan minyak 31 ml, kemudian kedua waktu 10 menit hasil minyak 32 ml, ketiga dalam waktu 15 menit hasil minyak 35 ml, keempat waktu 20 menit hasil minyak 36 ml, kelima waktu 25 menit hasil minyak 36 ml dan keenam waktu 30 menit hasil minyak 36 ml (Azis & Rante, 2021). Hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi percobaan tersebut, sebagian besar minyak sudah terproduksi dalam waktu singkat, dan penambahan waktu tidak lagi memberikan peningkatan dalam hasil minyak. Dari perbandingan ini terdapat faktor utama yang memengaruhi hasil minyak dalam pirolisis plastik PP adalah durasi pirolisis, kondisi awal bahan baku, serta suhu dan tekanan dalam reaktor. Pirolisis pada waktu yang lebih lama memungkinkan dekomposisi plastik yang lebih optimal, produksi minyak cenderung menurun atau konstan karena bahan baku telah terurai sepenuhnya atau telah mengalami pergeseran produk menjadi gas pirolisis. Oleh karena itu, suhu, waktu, dan kondisi bahan baku perlu dilakukan untuk meningkatkan efisiensi produksi minyak dari pirolisis plastik PP (Azis & Rante, 2021).

### **Hasil pengujian total minyak pirolisis plastik PET dan PP**

Hasil penelitian menunjukkan bahwa volume minyak pirolisis dari plastik PET total hasil minyak 8600 ml lebih tinggi dibandingkan minyak dari plastik PP total 650 ml. Perbedaan ini menunjukkan bahwa PET lebih mudah terurai menjadi minyak pada suhu yang lebih rendah dibandingkan PP, sehingga memiliki efisiensi konversi yang lebih tinggi dalam proses pirolisis. Perbedaan ini dapat dikaitkan dengan rentang suhu yang digunakan selama proses pirolisis, di mana PET diproses pada suhu 70–130°C, sedangkan PP diproses pada suhu 100–150°C. Meskipun suhu pirolisis pada PP lebih tinggi dibandingkan PET, peningkatan suhu tidak berdampak signifikan terhadap volume minyak yang dihasilkan. Perbedaan volume minyak dari kedua jenis plastik ini menunjukkan bahwa suhu berperan penting dalam efisiensi konversi termal selama proses pirolisis, di mana PET lebih mudah terurai dibandingkan PP. Penelitian ini didukung oleh penelitian sebelumnya dimana menunjukkan bahwa suhu yang lebih tinggi dapat mempercepat degradasi rantai polimer menjadi fraksi hidrokarbon yang lebih ringan, sehingga meningkatkan hasil minyak dengan kondisi tertentu. Perbedaan volume minyak yang dihasilkan dari jenis PET dan PP menunjukkan adanya karakteristik yang berbeda dari masing-masing jenis plastik. PET cenderung menghasilkan minyak lebih tinggi dibandingkan PP dalam

rentang suhu yang lebih rendah. Hal ini dapat dikaitkan dengan struktur PET yang lebih mudah meleleh yang memungkinkan proses pirolisis berlangsung lebih efisien pada suhu yang rendah. Sebaliknya, PP memiliki struktur yang keras dan tahan panas cenderung membutuhkan suhu yang tinggi untuk mencapai konversi minyak yang tinggi (Riandis *et al*, 2021). Hasil minyak PET memiliki hasil warna lebih kuning terang dibandingkan hasil minyak PP yang memiliki warna kehitaman. Perbedaan hasil minyak bisa disebabkan karena pemilihan jenis bahan baku yang berbeda kemungkinan perbedaan senyawa kimia pada bahan baku tersebut (Anom & Lombok, 2020).

Minyak hasil pirolisis dari plastik PET dan PP tidak dapat langsung digunakan sebagai bahan bakar tanpa melalui proses pemurnian lebih lanjut. Beberapa penelitian telah membahas pemurnian minyak pirolisis sebelum digunakan sebagai bahan bakar dimana minyak hasil pirolisis dari plastik PET dan PP tidak dapat langsung digunakan disebabkan oleh adanya kandungan senyawa berat, residu karbon, serta kemungkinan kontaminan lain yang dapat mempengaruhi efisiensi pembakaran dan kompatibilitasnya dengan mesin atau sistem pembakaran. Oleh karena itu, diperlukan tahapan pemurnian, seperti distilasi fraksional untuk memisahkan komponen ringan dan berat, serta *hidrodesulfurisasi* (HDS) jika terdapat kandungan sulfur yang tinggi. Kandungan sulfur yang tinggi dapat menyebabkan korosi pada mesin dan meningkatkan emisi gas beracun seperti  $SO_2$  (Rambe *et al*, 2012). Beberapa penelitian telah membahas pemurnian minyak pirolisis sebelum digunakan sebagai bahan bakar. Minyak pirolisis dari limbah plastik memerlukan pencampuran tambahan agar dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif, seperti pencampuran katalis atau pencampuran dengan bahan bakar konvensional. Dengan demikian, meskipun minyak hasil pirolisis memiliki potensi sebagai bahan bakar alternatif, diperlukan proses pemurnian lebih lanjut untuk memastikan kualitasnya sesuai dengan standar bahan bakar yang digunakan dalam industri atau kendaraan bermotor (Kamal, 2022).

### **Hasil perbandingan residu plastik PET dan PP**

Pirolisis plastik PET menghasilkan residu utama berupa arang, yang menunjukkan bahwa sebagian besar material telah terurai dengan baik dalam proses ini. Sebaliknya, residu pirolisis plastik PP masih meninggalkan sisa plastik yang belum sepenuhnya terdekomposisi. Hal ini menunjukkan bahwa PP memiliki ketahanan termal yang lebih tinggi dibandingkan PET, sehingga memerlukan suhu yang lebih tinggi atau durasi pirolisis yang lebih lama untuk mencapai dekomposisi yang optimal. Dari penelitian yang dilakukan sebelumnya hasil residu pirolisis PET mengandung *wax* dan arang (Setiawati *et al*, 2024). Perbedaan ini bisa disebabkan oleh kondisi eksperimen yang berbeda seperti suhu atau laju pemanasan. Sedangkan hasil residu pirolisis PP dalam penelitian ini masih meninggalkan sisa dalam bentuk plastik yang belum sepenuhnya terdekomposisi, penelitian ini didukung oleh penelitian yang dilakukan sebelumnya dimana residu pirolisis PP sebagian besar masih berupa residu padatan yang belum sepenuhnya terdekomposisi (Cahyono *et al*, 2019). Hasil penelitian ini memiliki kesamaan mengindikasikan bahwa PP memiliki ketahanan termal yang lebih tinggi dibandingkan PET, sehingga membutuhkan suhu yang lebih tinggi atau waktu pirolisis yang lebih lama agar dapat terurai secara maksimal. Selain itu, perbedaan karakteristik residu antara PET dan PP dalam pirolisis menunjukkan bahwa struktur kimia masing-masing plastik berperan penting dalam degradasinya. PET lebih mudah terurai menjadi residu arang, yang menunjukkan bahwa proses pirolisisnya lebih efisien dalam mengonversi bahan menjadi arang. Sebaliknya, PP yang masih meninggalkan residu dalam bentuk plastik menunjukkan bahwa kondisi pirolisis saat ini belum cukup optimal untuk mendekomposisi material ini secara sempurna (Cahyono *et al*, 2019).

### **Hasil Uji statistik (uji normalitas, uji-t, uji korelasi)**

Hasil penelitian ini, uji statistik menunjukkan uji normalitas menggunakan Shapiro-Wilk mengonfirmasi bahwa data PET dan PP berdistribusi normal dengan nilai signifikansi

1,000 lebih dari 0,05. Perbedaan rata-rata hasil minyak yang dihasilkan dari pirolisis PET dan PP signifikan secara statistik, nilai t sebesar 24,249 untuk PET dan 19,919 untuk PP dengan tingkat signifikansi masing-masing 0,002 dan 0,003 yang kurang dari 0,05 dengan kepercayaan 95%, di mana rata-rata hasil minyak PET 7000 ml jauh lebih tinggi dibandingkan dengan PP 230 ml, bahwa PET memiliki potensi lebih besar dalam produksi bahan bakar cair melalui pirolisis. Uji korelasi menunjukkan hubungan sempurna antara PET dan PP dengan nilai korelasi 1,000 dan tingkat signifikansi 0,000 kurang dari 0,05, namun tidak ditemukan korelasi antara variabel waktu dengan hasil minyak yang dihasilkan. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian sebelumnya oleh (Rokhim *et al.*, 2020). Dari penelitian yang dilakukan dimana uji t sebesar  $0,004 < 0,05$ . Dari hasil tersebut ada perbedaan yang signifikan pada konsumsi bahan bakar PP dan PET. Pada uji normalitas 0,191 yang lebih dari 0,05 maka hasil data tersebut berdistribusi normal. Perbedaan hasil minyak antara PET dan PP dapat disebabkan oleh perbedaan struktur kimia kedua jenis plastik tersebut, di mana PET yang memiliki gugus cenderung menghasilkan lebih banyak minyak dibandingkan PP yang lebih stabil secara termal dan cenderung menghasilkan gas pirolisis dalam jumlah lebih besar (Rokhim *et al.*, 2020).

## KESIMPULAN

Proses pirolisis plastik PET lebih efisien dalam menghasilkan minyak dibandingkan plastik PP. Dengan berat bahan baku yang sama, yaitu 7,5 kg, plastik PET menghasilkan minyak total rata-rata 8600 ml, sedangkan plastik PP hanya menghasilkan total rata-rata 650 ml. Plastik PET lebih mudah mengalami konversi termal dibandingkan PP. PET dapat terurai pada suhu yang lebih rendah 70–130°C, sementara PP membutuhkan suhu lebih tinggi 100–150°C tetapi tetap menghasilkan minyak dalam jumlah yang jauh lebih sedikit. Residu hasil pirolisis menunjukkan karakteristik yang berbeda antara PET dan PP. Residu PET sebagian besar berupa arang, menunjukkan bahwa material ini lebih mudah terdekomposisi. Sebaliknya, residu PP masih meninggalkan sisa plastik yang belum sepenuhnya terurai, menandakan ketahanan termal yang lebih tinggi dan perlunya suhu atau waktu pirolisis yang lebih optimal. Pirolisis plastik PET memiliki potensi lebih besar dalam pengolahan limbah plastik menjadi bahan bakar cair. Dengan hasil minyak yang lebih tinggi dan tingkat dekomposisi yang lebih baik, PET dapat menjadi alternatif yang lebih efisien dalam produksi bahan bakar berbasis limbah plastik. Hasil dari uji statistik nilai korelasi PET dan PP 1,000 dengan tingkat signifikansi 0,000 kurang dari 0,05 yang menunjukkan tingkat hubungan yang sangat kuat. Selain itu, uji normalitas menggunakan Shapiro-Wilk bahwa data PET dan PP berdistribusi normal dengan nilai signifikansi 1,000 lebih dari 0,05. Nilai t dari hasil statistik sebesar 24,249 untuk PET dan 19,919 untuk PP dengan tingkat signifikansi masing-masing 0,002 dan 0,003 yang kurang dari 0,05 dengan kepercayaan 95%, bahwa PET memiliki potensi lebih besar dalam produksi bahan bakar cair melalui pirolisis.

## REFERENSI

- Abiyyu Haidar, M., Faizeh, N., & Wahyudi, B. (2023). Pengolahan Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak dengan Menggunakan Proses Pirolisis. *COMSERVA Indonesian Journal of Community Services and Development*, 2(10), 2238–2243. <https://doi.org/10.59141/comserva.v2i10.625>
- Anom, I. D. K., & Lombok, J. Z. (2020). Karakterisasi Asap Cair Hasil Pirolisis Sampah Kantong Plastik sebagai Bahan Bakar Bensin. *Fullerene Journal of Chemistry*, 5(2), 96. <https://doi.org/10.37033/fjc.v5i2.206>
- Azis, H. A., & Rante, H. B. (2021). Produksi Bahan Bakar Cair Dari Limbah Plastik Polypropylene (PP) Metode Pirolisis. *Journal of Chemical Process Engineering*, 6(1), 18–23. <https://doi.org/10.33536/jcpe.v6i1.689>
- Cahyono, M. S., Liestiono, M. R. P., & Widodo, C. (2019). Proses Pirolisis Sampah Plastik dalam Rotary Drum Reactor dengan Variasi Laju Kenaikan Suhu. *Prosiding Seminar*

- Nasional Teknoka*, 3(2502), 63. <https://doi.org/10.22236/teknoka.v3i0.2917>
- Chorilayah, S., Sutanto, H. A., & Hidayat, D. S. (2019). Reaksi Pasar Modal Terhadap Penurunan Harga Bahan Bakar Minyak (BBM) Atas Saham Sektor Industri Transportasi Di Bursa Efek Indonesia. *Journal of Economic Education*, 5(1), 1–10.
- Haris, O., Saputra, A., & Pendahuluan, I. (2021). Perancangan Mesin Destilator Pemanfaatan Limbah Plastik Menjadi Energi Alternatif. *Prosiding the 12th Industrial Research Workshop and National Seminar*, 12(1), 4–5.
- Herliati, H., Prasetyo, S. B., & Verinaldy, Y. (2019). Review: Potensi limbah Plastik dan Biomassa sebagai Sumber Energi Terbarukan Dengan Proses Pirolisis. *Jurnal Teknologi*, 6(2), 85–98. <https://doi.org/10.31479/jtek.v6i2.13>
- Ibnul Rasidi, A., Pasaribu, Y. A. H., Ziqri, A., & Adhinata, F. D. (2022). Klasifikasi Sampah Organik dan Non-Organik Menggunakan Convolutional Neural Network. *Jurnal Teknik Informatika Dan Sistem Informasi*, 8(1), 142–149. <https://doi.org/10.28932/jutisi.v8i1.4314>
- Kamal, D. M. (2022). Penambahan Katalis Karbon Aktif dan Tanah Liat Bentonit Pada Pirolisis Sampah Plastik Polyethylene Terephthalate ( PETE ). *Jurnal Energi Dan Teknologi Manufaktur*, 05(01), 23–28.
- Khoironi, A., Najiyah, A. N., Baihaqi, R. A., Nurjannah, Lukitasari, M., & Kusmiyati. (2024). The Influence of Polypropylene Non-woven Plastic Waste on Alfisol Soil Quality. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1414(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1414/1/012037>
- Kholiq, I. (2012). Pemanfaatan Energi Alternatif Sebagai Energi Terbarukan Untuk Mendukung Substitusi BBM. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 4(1), i. [https://doi.org/10.1016/s1877-3435\(12\)00021-8](https://doi.org/10.1016/s1877-3435(12)00021-8)
- Kusmiyati, K., Prasetyoko, D., Murwani, S., Fadhilah, M. N., Oetami, T. P., Hadiyanto, H., Widayat, W., Budiman, A., & Roesyadi, A. (2019). Biodiesel production from reutealis trisperma oil using KOH impregnated eggshell as a heterogeneous catalyst. *Energies*, 12(19). <https://doi.org/10.3390/en12193714>
- Novia, TiNovia, T. (2021). Pengolahan Limbah Sampah Plastik Polythylene Terephthlate (PET) Menjadi Bahan Bakar Minyak dengan Proses Pirolisis. *GRAVITASI: Jurnal Pendidikan Fisika Dan Sains*, 4(01), 33–41. <https://doi.org/10.33059/gravitasi.jpfs.v4i01.3481a>. (2021). Pengolahan Limbah Sampah Plastik Polythylene Terephthlate (PET) Menjadi Bahan Bakar Minyak dengan Proses Pirolisis. *GRAVITASI: Jurnal Pendidikan Fisika Dan Sains*, 4(01), 33–41. <https://doi.org/10.33059/gravitasi.jpfs.v4i01.3481>
- Prasetiawan, H., Nafasyeila, T. D., & Fardhayanti, D. S. (2023). Pengolahan Sampah Plastik Menggunakan Metode Pirolisis Sebagai Upaya Pengurangan Limbah Plastik Pada Lingkungan. *Technopex 2022*, 1–19.
- Putri, M. G. A., Sudarti, S., & Yushardi, Y. (2023). Analisis Metode Pengolahan Sampah Plastik Sebagai Energi Alternatif. *PHYDAGOGIC: Jurnal Fisika Dan Pembelajarannya*, 6(1), 38–43. <https://doi.org/10.31605/phy.v6i1.3137>
- Rahmanpiu. (2019). Studi Pendahuluan Pengembangan Alat Pirolisis Sampah Plastik Polipropilena (Pp) Menggunakan Drum Sisa Pakai. *Gema Pendidikan*, 26(1), 1. <https://doi.org/10.36709/gapend.v26i1.6617>
- Rambe, S. M., Dina, S. F., Sipahutar, E. H., & Maha, K. M. (2012). Potensi Bio-Oil Dari Reject Plastik Hasil Proses Katalitik Pirolisis Sebagai Sumber Energi Terbarukan. *Indonesian Journal Of Industrial Research*, Vol. 13 no. 25.
- Riandis, J. A., Setyawati, A. R., & Sanjaya, A. S. (2021). Pengolahan Sampah Plastik Dengan Metode Pirolisis Menjadi Bahan Bakar Minyak. *Jurnal Chemurgy*, 5(1), 8. <https://doi.org/10.30872/cmng.v5i1.4755>
- Ridhuan, K., & Suranto, J. (2017). Perbandingan Pembakaran Pirolisis Dan Karbonisasi Pada

- Biomassa Kulit Durian Terhadap Nilai Kalori. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 5(1), 50–56. <https://doi.org/10.24127/trb.v5i1.119>
- Rokhim, N., Nuryosuwito, & Rhohman, F. (2020). Perbandingan Pemakaian Bahan Bakar Cair Hasil Produk Pirolisis Jenis Plastik PP, Plastik PET, dan Katalis Terhadap Kinerja Mesin. *Seminar Nasional Inovasi Teknologi*, 291–298.
- Setiawati, N. E., Stefandra, I., Rizqi, M., Dermawan, P., Firmansyah, R. D., & Firstnanda, A. R. (2024). Pengembangan Alat Pirolisis Untuk Pengolahan Limbah Plastik Menggunakan Teknologi Baru Dengan Pendingin Chiller Development of Pyrolysis Equipment for Plastic Waste Processing Using New Technology With Cooling Chillers. *Jurnal Atmosphere* 05(01), 1–6.
- Udyani, K., Ningsih, E., Arif, M., Teknik, J., Institut, K., Adhi, T., & Surabaya, T. (2018). Pengaruh Temperatur Pirolisis Terhadap Yield Dan Nilai Kalor Bahan Bakar Cair Dari Bahan Limbah Kantong Plastik. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Terapan VI, 2013*, 389–394.
- Wicaksono, M. A., & Arijanto. (2017). Pengolahan Sampah Plastik Jenis Pet(Polyethylene Perephthalathe) Menggunakan Metode Pirolisis Menjadi Bahan Bakar Alternatif. *Jurnal Teknik Mesin*, 5(1), 9–15. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jtm/article/view/16921>