



OPTIMASI YIELD MINYAK PIROLISIS LIMBAH PLASTIK *HIGH DENSITY POLYETHYLENE* (HDPE) BERDASARKAN WAKTU REAKSI DAN PERSENTASE KATALIS MENGGUNAKAN *RESPONSE SURFACE METHODOLOGY*

Ihza Adha Yasa Putra Pratama ^{1*}, Kevin Fanani Ma'Arif¹, Ramli Thahir², Zainal Arifin²

¹⁻³ Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Samarinda

*Email: ramli.thahir@polnes.ac.id

Abstrak

Peningkatan jumlah penduduk menyebabkan volume sampah yang terus meningkat, salah satunya adalah sampah plastik. Limbah sampah plastik menjadi permasalahan lingkungan yang serius karena sulit terurai secara alami serta berpotensi mencemari air, tanah, dan ekosistem laut. Salah satu upaya pengelolaan limbah plastik yang efektif adalah mengonversi plastik berjenis *High Density Polyethylene* (HDPE) menjadi bahan bakar minyak melalui proses pirolisis. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh kondisi operasi yang optimum terhadap *yield* minyak pirolisis dengan mempelajari pengaruh waktu reaksi dan persentase katalis menggunakan metode *Response Surface Methodology* (RSM). Proses pirolisis dilakukan dalam reaktor *fixed-bed semi-batch* dengan temperatur tetap 350°C dengan massa umpan 500 g, variasi waktu 30, 60, dan 90 menit, serta persentase berat katalis 5%, 7,5%, dan 10%. Hasil optimasi RSM menunjukkan bahwa kondisi optimum yang diperoleh adalah pada waktu 90 menit dan persentase katalis 7,845% dengan *yield* minyak pirolisis prediksi sebesar 22,356%. Hasil verifikasi penelitian pada kondisi optimum tersebut menghasilkan *yield* minyak sebesar 21,4542%. Karakteristik bahan bakar minyak (densitas, viskositas, *specific gravity*, °API, dan bilangan asam) mengindikasikan kesesuaian dengan fraksi minyak tanah (kerosene), dengan densitas 0,7946 g/cm³, viskositas 2,305 mm²/s, *specific gravity* 0,7954, °API 46,4, dan bilangan asam 0,504 mg KOH/g.

Kata kunci: bahan bakar minyak, katalis, pirolisis, rsm, waktu

Article History

Received: Oktober 2026

Reviewed: Oktober 2026

Published: Oktober 2026

Plagiarism Checker No
237.u873247.fh8374

Copyright : Author

Publish by : Kohesi



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

1. PENDAHULUAN

Seiring dengan meningkatnya penggunaan plastik akibat perkembangan teknologi, industri, dan pertumbuhan penduduk, timbulan limbah plastik juga terus mengalami peningkatan dan menjadi permasalahan lingkungan yang serius. Di Indonesia, khususnya Kota Samarinda, persentase sampah plastik tergolong tinggi, dengan plastik jenis *high density polyethylene* (HDPE)

sebagai salah satu penyumbang terbesar. Limbah HDPE bersifat sulit terdegradasi secara alami dan berpotensi mencemari lingkungan serta membahayakan kesehatan apabila tidak dikelola dengan baik. Di sisi lain, HDPE memiliki kandungan hidrokarbon rantai panjang yang berasal dari minyak bumi sehingga memiliki nilai energi yang tinggi. Oleh karena itu, pemanfaatan limbah plastik HDPE melalui teknologi



pirolisis menjadi alternatif yang menjanjikan untuk mengonversi limbah menjadi produk bernilai tambah berupa minyak pirolisis, gas, dan residu padat yang berpotensi dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif.

2. METODOLOGI

2.1 Alat dan Bahan

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah plastik jenis *high density polyethylene* (HDPE) dan katalis NI/ZSM-5. Alat utama yang digunakan meliputi reaktor pirolisis *fixed bed semi-batch*, kondensor, *thermometer*, *thermocouple*.

2.2 Preparasi Bahan Baku

Preparasi bahan baku dilakukan dengan membersihkan limbah plastik jenis *high density polyethylene* (HDPE) dari kotoran yang menempel, kemudian plastik dikeringkan dengan cara dijemur di bawah sinar matahari atau diangin-anginkan hingga kadar air berkurang. Setelah kering, plastik dipotong menjadi ukuran sekitar 2×3 cm untuk menyeragamkan ukuran partikel, kemudian ditimbang sebanyak 500 g untuk setiap sampel yang akan digunakan dalam proses penelitian.

2.3 Prosedur Aktivasi Katalis

Prosedur aktivasi katalis dilakukan dengan menimbang katalis Ni/ZSM-5 sebanyak 250 g, kemudian katalis dimasukkan ke dalam *furnace* dan dipanaskan pada suhu 650°C selama 1 jam untuk mengaktifkan situs aktif katalis. Setelah proses aktivasi selesai, katalis dikeluarkan dari *furnace* dan didinginkan hingga mencapai suhu ruang sebelum digunakan pada tahap selanjutnya.

2.4 Prosedur Proses Pirolisis

Proses pirolisis dilakukan menggunakan reaktor *fixed bed semi-batch* yang terlebih

dahulu dibersihkan, kemudian reaktor kosong ditimbang. Bahan baku plastik HDPE dan katalis Ni/ZSM-5 dimasukkan ke dalam reaktor sesuai dengan variasi komposisi yang ditentukan oleh aplikasi *Design Expert*, setelah itu reaktor ditutup rapat dan ditimbang kembali. Selanjutnya, rangkaian alat pirolisis yang terdiri dari reaktor, unit kondensor, dan pompa air disusun, kemudian pompa air dinyalakan untuk memastikan sistem kondensasi berjalan baik dan tidak terjadi kebocoran. Pemanas listrik kemudian diaktifkan dan temperatur pirolisis diatur pada 350°C. Temperatur tungku pemanas dan temperatur reaktor dicatat pada saat terbentuk tetesan pertama hasil pirolisis, serta volume produk cair dicatat berdasarkan variasi waktu yang direkomendasikan oleh aplikasi *Design Expert*. Cairan hasil pirolisis ditampung menggunakan gelas ukur, dan proses dijalankan hingga tidak lagi terbentuk tetesan pada kondensor. Setelah proses selesai, pemanas listrik dan pompa sirkulasi air kondensor dimatikan, kemudian reaktor didinginkan hingga mencapai suhu ruang, dikeluarkan dari tungku pemanas, dan massa reaktor ditimbang untuk keperluan analisis selanjutnya.

Tabel 1. Variabel-variabel Kondisi Proses Center

Variabel	Satuan	Taraf		
		-1	0	+1
Waktu Reaksi	Menit	30	60	90
Persentase Katalis	%	5	7,5	10



3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Optimasi *Yield* Minyak Pirolisis Limbah Plastik HDPE

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimasi *yield* minyak pirolisis dari limbah plastik HDPE menggunakan katalis Ni/ZSM-5 dengan pendekatan *Response Surface Methodology* (RSM). Variabel bebas yang digunakan meliputi waktu pirolisis dan persentase katalis, sedangkan variabel respon berupa *yield* minyak pirolisis. Hasil optimasi menunjukkan bahwa kombinasi waktu pirolisis dan persentase katalis berpengaruh terhadap distribusi produk pirolisis, dengan kecenderungan *yield* gas lebih dominan dibandingkan *yield* cair. Kondisi ini dipengaruhi oleh aktivitas katalis Ni/ZSM-5 yang mempercepat proses perengkahan hidrokarbon serta keterbatasan sistem kondensasi pada reaktor *fixed bed semi-batch*, sehingga tidak seluruh uap pirolisis dapat terkondensasi menjadi fase cair.

3.2 Optimasi Waktu Reaksi dan Persentase Katalis Menggunakan RSM

Optimasi kondisi operasi dilakukan menggunakan metode RSM dengan rancangan *Central Composite Design* (CCD) melalui perangkat lunak *Design Expert*. Variabel waktu pirolisis dan persentase katalis dianalisis secara statistik untuk menentukan kombinasi optimum terhadap *yield* minyak pirolisis. Berdasarkan analisis model, diperoleh kondisi optimum pada kombinasi waktu pirolisis dan persentase katalis tertentu yang menghasilkan *yield* minyak maksimum. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan persentase katalis dan waktu reaksi berpengaruh terhadap intensitas perengkahan, namun peningkatan yang berlebihan cenderung meningkatkan pembentukan gas sehingga menurunkan *yield* cair.

3.3 Analisa Model Respon

Tabel 2. Nilai Parameter-parameter Optimasi Terhadap Respon

Source	Sequential P-value	Lack of fit P-value	Keterangan
Linear	0.0003	0.0296	
2FI	0.9534	0.0247	
Quadratic	0.0031	0.1477	Suggested
Cubic	0.0353	0.7532	Aliased

Berdasarkan nilai probabilitas (*p-value*) pada Tabel 2, pemilihan model ditentukan berdasarkan tingkat signifikansi hubungan antara variabel bebas dan respon. Model kuadratik terpilih sebagai model yang paling sesuai karena memiliki nilai *p-value* yang signifikan ($P < 0,05$), yaitu sebesar 0,0031. Model 2FI tidak signifikan dengan nilai *p-value* sebesar 0,9534, sedangkan model kubik meskipun signifikan tidak direkomendasikan karena berstatus *aliased* yang menunjukkan ketidakcukupan data untuk estimasi parameter secara independen. Hasil uji *lack of fit* menunjukkan bahwa model kuadratik memiliki nilai *p-value* yang tidak signifikan ($P > 0,05$) sehingga memenuhi kriteria kelayakan model. Oleh karena itu, model kuadratik dipilih sebagai model terbaik untuk merepresentasikan hubungan antara variabel proses dan respon.

3.4 Uji ANOVA

Tabel 3. Uji ANOVA

Source	Sum of Squares	P-value	Keterangan
Model	472.2	0.0001	Significant



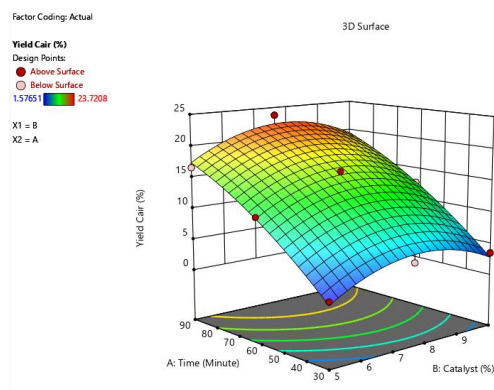
A-Time	409.2	<	
	3	0.0001	
B-	5.70	0.0861	
Catalyst			
AB	0.033	0.8769	
	3		
A ²	6.73	0.0683	
B ²	37.95	0.0027	
Residual	6.27		
Lack of fit	5.64	0.1477	Not Significant
Pure Error	0.633		
Error	6		
Cor	478.5		
Total	2		

Berdasarkan hasil uji ANOVA pada Tabel 3, model kuadratik menunjukkan signifikansi yang tinggi terhadap respon persen *yield* minyak dengan nilai *p-value* sebesar 0,0001 ($P < 0,05$). Variabel waktu reaksi (A) berpengaruh signifikan secara linier terhadap *yield* minyak ($p\text{-value} < 0,0001$), sedangkan persentase katalis (B) tidak signifikan secara linier. Interaksi antara waktu reaksi dan persentase katalis (AB) juga tidak memberikan pengaruh signifikan. Namun, efek kuadratik persentase katalis (B²) menunjukkan pengaruh signifikan ($p\text{-value} = 0,0027$), yang mengindikasikan adanya hubungan non-linear antara persentase katalis dan *yield* minyak. Nilai *lack of fit* yang tidak signifikan ($P > 0,05$) menegaskan bahwa model yang digunakan telah sesuai dengan data eksperimen.

3.5 Solutions

Tabel 4. Solutions

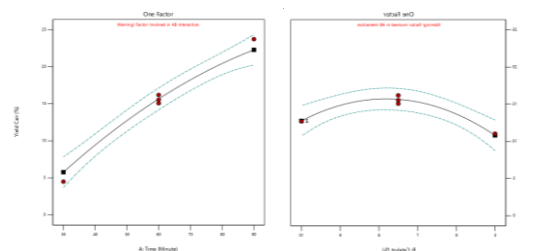
Time	Catalys t	Yield Cair	Desirab ility
90.00	7.845	22.356	0.938
0			
90.000	7.866	22.356	0.938



Gambar 3.1 Grafik 3D Interaksi Variabel Proses

Berdasarkan hasil optimasi menggunakan metode *Response Surface Methodology* (RSM) dengan bantuan perangkat lunak *Design Expert*, diperoleh dua solusi kondisi optimum dengan nilai *yield* cair yang sama sebesar 22,356% dan nilai *desirability* 0,938. Kondisi optimum terpilih ditetapkan pada waktu reaksi 90 menit dan persentase katalis 7,845% karena memiliki nilai *desirability* paling mendekati satu, yang menunjukkan tingkat ketepatan optimasi yang tinggi. Verifikasi model pada kondisi optimum tersebut menghasilkan *yield* minyak aktual sebesar 21,4542% dengan persen kesalahan sebesar 4,03% dan tingkat akurasi model sebesar 95,97%. Hasil ini menunjukkan bahwa model RSM yang diperoleh bersifat valid dan mampu memprediksi serta mengoptimalkan proses pirolisis HDPE dengan baik.

3.6 Pengaruh Waktu Reaksi dan Persentase Katalis Terhadap Respon





Gambar 3.2 Pengaruh Waktu Reaksi dan Persentase Katalis Terhadap Respon

Persen *yield* minyak digunakan sebagai indikator kuantitas minyak pirolisis yang dihasilkan dari limbah plastik HDPE. Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu reaksi dan persentase katalis berpengaruh terhadap *yield* minyak, dengan persentase katalis memberikan pengaruh yang lebih signifikan dibandingkan waktu reaksi. Berdasarkan Gambar 3.2, peningkatan persentase katalis hingga kisaran $\pm 7-8\%$ meningkatkan *yield* minyak secara signifikan, namun penambahan katalis yang berlebihan justru menurunkan *yield* akibat terjadinya perengkahan lanjutan (*secondary cracking*) yang meningkatkan pembentukan gas. *Yield* minyak tertinggi sebesar 21,45% diperoleh pada waktu reaksi 90 menit dan persentase katalis 7,845%. Hasil ini sejalan dengan penelitian Kinia Eldwita dkk. (2020) yang melaporkan bahwa peningkatan katalis yang berlebihan tidak selalu meningkatkan *yield* minyak karena konversi fraksi cair menjadi gas.

Tabel 5. Nilai Keakuratan Desain

Std. Dev.	1.12	R ²	0.9869
Mean	12.65	Adjusted R ²	0.9738
C.V. %	8.85	Predicted R ²	0.8729
		Adeq Precision	25.7177

Berdasarkan Tabel 5, nilai koefisien determinasi (R²) sebesar 0,9869 menunjukkan bahwa model mampu menjelaskan 98,69% variasi respon *yield* minyak, sedangkan sisanya sebesar 1,31% dipengaruhi oleh faktor lain di luar model. Nilai R² yang mendekati

satu mengindikasikan bahwa model yang dibangun memiliki tingkat kesesuaian yang sangat baik terhadap data eksperimen, sehingga mampu merepresentasikan hubungan antara variabel proses dan respon secara akurat.

Tabel 6. Model Respon *Yield* Minyak

Factor	Coefficient Estimate	95% CI Low	95% CI High
Intercept	15.65	14.18	17.13
A-Time	8.26	7.08	9.43
B-Catalyst	0.9750	-	2.15
		0.2003	
AB	0.0912	-1.35	1.53
A ²	-1.63	-3.44	0.1786
B ²	-3.87	-5.68	-2.06

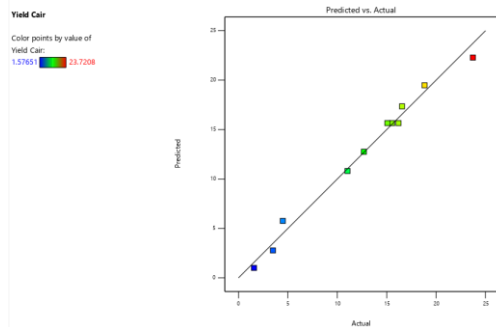
Berdasarkan Tabel 6, hubungan antara waktu reaksi (A) dan persentase katalis (B) terhadap persen *yield* minyak dinyatakan dalam bentuk model kuadratik sebagaimana persamaan berikut:

$$\text{Yield Minyak} = 15,65 + 8,26A + 0,9750B - 1,63A^2 - 3,87B^2 + 0,0912AB \quad (1)$$

Koefisien positif pada variabel waktu reaksi (A) menunjukkan bahwa peningkatan waktu reaksi berpengaruh positif terhadap *yield* minyak secara linier. Sementara itu, koefisien kuadratik negatif pada persentase katalis (B²) mengindikasikan adanya nilai katalis optimum, di mana penambahan katalis yang berlebihan menyebabkan penurunan *yield* akibat terjadinya *over-cracking*. Selain itu, koefisien kuadratik negatif pada waktu reaksi (A²) menunjukkan kecenderungan perlambatan peningkatan *yield* pada waktu reaksi yang lebih lama. Hal ini menegaskan bahwa

kondisi optimum diperoleh melalui kombinasi waktu reaksi yang relatif lama dengan persentase katalis pada nilai optimum.

3.7 Persen *Yield* Minyak Aktual vs Prediksi



Gambar 3.3 Perbandingan Persen *Yield* Minyak Aktual vs Prediksi

Berdasarkan Gambar 3.3, hubungan antara nilai *yield* minyak aktual dan hasil prediksi model RSM menunjukkan kesesuaian yang baik, di mana sebagian besar titik data berada di sekitar garis diagonal. Hal ini mengindikasikan bahwa nilai prediksi mendekati nilai aktual. Tingginya nilai koefisien determinasi ($R^2 = 0,9869$) menegaskan bahwa model kuadratik yang diperoleh memiliki tingkat kecocokan yang sangat baik terhadap data eksperimen dan layak digunakan untuk memprediksi *yield* minyak pada kondisi operasi yang diteliti.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil uji ANOVA, waktu reaksi berpengaruh signifikan secara linier terhadap persen *yield* minyak, sedangkan persentase katalis Ni/ZSM-5 menunjukkan pengaruh signifikan secara kuadratik yang mengindikasikan adanya kondisi katalis optimum. Peningkatan waktu pirolisis cenderung meningkatkan *yield* minyak, sementara peningkatan persentase katalis hanya efektif hingga batas tertentu sebelum terjadi penurunan *yield* akibat fenomena *over-cracking* menjadi fraksi gas. Hasil optimasi menggunakan metode *response*

surface methodology (RSM) merekomendasikan kondisi operasi optimum pada waktu pirolisis 90 menit dan persentase katalis 7,845% dengan *yield* minyak prediksi sebesar 22,356%, yang tervalidasi secara eksperimen sebesar 21,4542% dengan persen kesalahan 4,03%.

5. DAFTAR PUSTAKA

- A.J. Maia, B. L., & Lam, Y.L., M. M. P. (2010). Ni-ZSM-5 Catalysts: Detailed Characterization of Metal Sites for Proper Catalyst Design. ScienceDirect. <https://doi.org/10.1016/j.jcat.2009.10.021>.
- Al-asadi, M., & Miskolczi, N. (2020). High Temperature Pyrolysis of Municipal Plastic Waste Using Me / Ni / ZSM-5 Catalysts : The Effect of Metal / Nickel Ratio.
- Al-Salem, S. M., Antelava, A., Constantinou, A., Manos, G., & Dutta, A. (2017). A Review on Thermal and Catalytic Pyrolysis of Plastic Solid Waste (PSW). Journal of Environmental Management, 197(1408), 177-198. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.084>
- Alam, A. N. (2023). Pengaruh Waktu Terhadap Produk Pirolisis Sampah Plastik Polypropylene (PP)
- Alim, M. I., Firdausi, A., & Nirmalasari, M. D. (2017). Densitas dan Porositas Batuan. Fisika Laboratorium, January, 1-3. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21184.89607>
- Cahyono, M. S., Prasetya, A., & Syamsiro, M. (2020). Influence of Residence Time To the Properties of Liquid Product From Plastic Waste Pyrolysis. Multitek Indonesia, 14(1), 34-40. <https://doi.org/10.24269/mtkind.v14i1.2726>



- Cantika, R., Akbar, H. A., Aswan, A., Ridwan, K. ., Syakdani, A., Effendy, S., & Taufik, M. (2022). Pengolahan Limbah Plastik Jenis Polypropylene (PP) dan Low Density Polyethylene (LDPE) Menjadi Bahan Bakar Cair Melalui Proses Catalytic Thermal Cracking Menggunakan Katalis FCC. *Jurnal Pendidikan Dan Teknologi Indonesia*, 2(10), 437-445. <https://doi.org/10.52436/1.jpti.235>
- Dhamayanthi, W., YA, R. P., Wardani, D. K., Andini, P., Hudori, H. A., Pratama, F. E. A., & Atmajaya, A. W. W. (2024). Pemanfaatan HDPE (*High density polyethylene*) Menjadi Produk Komersial Pada KWT Meuseuraya Sidoarjo. *SEJAGAT: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 1(2), 47-55. <https://doi.org/10.25047/sejagat.v1i2.5143>
- Dominggus G.H. Adoe, Wenseslaus Bunganaen, Ika F. Krisnawi, F. A. S. (2019). Pirolisis Sampah Plastik PP (Polypropylene) Menjadi Minyak Pirolisis sebagai Bahan Bakar Primer. *Jurnal Teknik Mesin UNDANA*, 03(01), 17-26.
- Fanani, N., Novianarenti, E., Ningsih, E., Udyani, K., Budianto, A., & Tuhuloula, A. (2020). Study of The Effect of Zeolite Catalyst Use on Renewable Energy Products from HDPE Plastic Pyrolysis. *Journal of Applied Sciences, Management and Engineering Technology*, 1(2), 58-63. <https://doi.org/10.31284/j.jasmet.2020.v1i2.1305>
- Geleyne, S., Jiang, Z., Brandt, K., Garcia-Perez, M., Wolcott, M., & Zhang, X. (2020). Pulp Mill Integration With Alcohol-to-Jet Conversion Technology. *Fuel Processing Technology*, 201(January), 106338. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2020.106338>
- Hidayat, I. R., Zuhrotun, A., & Sopyan, I. (2020). Design-Expert Software sebagai Alat Optimasi Formulasi Sediaan Farmasi. *Majalah Farmasetika*, 6(1), 99-120. <https://doi.org/10.24198/mfarmasetika.v6i1.27842>
- Husin, H., Mahidin, M., Marwan, M., Nasution, F., Erdiwansyah, E., Ahmadi, A., Muchtar, S., Yani, F. T., & Mamat, R. (2023). Conversion of Polypropylene-Derived Crude Pyrolytic Oils Using Hydrothermal Autoclave Reactor and Ni/Aceh Natural Zeolite as Catalysts. *Heliyon*, 9(4), e14880. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14880>
- Kartika, W. (2022). Pemanfaatan Sampah Plastik Jenis HDPE Dan PET Sebagai Bahan Baku Pembuatan Bahan Bakar Minyak Alternatif Menggunakan Metode Pirolisis Dengan Katalis Zeolit Alam. *Agroindustrial Technology Journal*, 6(2), 106-117. <https://doi.org/10.21111/atj.v6i2.8591>
- Kinia Eldwita, Suci dwi Lestari, Sahrul Effendy A., F. (2020). Effect Of The Amount Of Catalyst And Temperature On The Production Of Liquid Fuel From Used Tyres Using Catalytic. 11(02), 19-25.
- KLHK. (2020). National Plastic Waste Reduction Strategic Actions for Indonesia. Ministry of Environment and Forestry, Republic of Indonesia, 1-46. <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/32898>
- Koti, A., Khongprom, P., & Ratanawilai, S. (2025). Catalytic Pyrolysis Oil from Landfilled Plastics through Ni / HZSM - 5 and Co / HZSM - 5 Catalysts. 0-11. <https://doi.org/10.1021/acsomega.4c09247>
- Kumar, S., Panda, A. K., & Singh, R. K. (2011). A Review on Tertiary Recycling of High-Density Polyethylene to Fuel. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(11), 893-910. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.05.005>



- Kumar, S., & Singh, R. K. (2011). Recovery of Hydrocarbon Liquid From Waste *High density polyethylene* by Thermal Pyrolysis. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 28(4), 659-667. <https://doi.org/10.1590/S0104-66322011000400011>
- Kumara, D. C., Wijayanti, W., Widhiyanuriyawan, D., Mesin, T., Brawijaya, U., & Haryono, M. T. (2015). Pengaruh Penggunaan Katalis (Zeolit) Terhadap Kinetic Rate Tar Hasil Pirolisis Serbuk Kayu Mahoni (Switenia Macrophylla). 6(1), 19-25.
- Kusuma, G. R. (2024). Peralite Sang Penghancur Liner Boring Motor? Kompasiana. <https://www.kompasiana.com/galihrestu1475/6751125634777c3f5c78b753/peralite-sang-penghancur-liner-boring-motor>
- Migas, S. D. (n.d.). Spesifikasi Produk BBM, BBN, & LPG. Spesifikasi Produk BBM, BBN & LPG, 23.
- Montgomery. (2017). Design and Analysis of Experiments, 9th Edition. wiley.com. <https://bcs.wiley.com/he-bcs/Books?action=chapter&bcsId=10790&itemId=1119320933&chapterId=124450>
- Primawan, A., Akhir, T., Kimia, J. T., & Samarinda, P. N. (2025). Pengaruh Temperatur Pirolisis pada Pengolahan Limbah Plastik HDPE (High Density Polyethelene) Menjadi Bahan Bakar Cair.
- Priscilla, T. (2024). Sintesis Biodiesel dari Minyak Jelantah dalam Reaktor Ultrasonik.
- Redaksi. (2021). Penting! Ini 7 Cara Mengurangi Limbah Plastik Rumah Tangga. Tabloidbintang.Com. <https://images.app.goo.gl/eLjNaDwVHHRE4xjc6>
- Shanti Saraswati. R.; Prof.Dr.Ir. Sri Kumalaningsih, M.App.Sc; Arie febrianto. M, S. M. (2018). Optimasi Proses Bleaching Pada Pembuatan Pulp Kering Berbahan Dasar Serabut Kelapa Sawit (Elais Guineensis) (Kajian Kadar H₂O₂ dan Lama Waktu Bleaching). ResearchGate, 2.
- Sharma, B. K., Moser, B. R., Vermillion, K. E., Doll, K. M., & Rajagopalan, N. (2014). Production, Characterization and Fuel Properties of Alternative Diesel Fuel From Pyrolysis of Waste Plastic Grocery Bags. *Fuel Processing Technology*, 122, 79-90. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2014.01.019>
- Speight, J. (2017). Handbook of Petroleum. 726.
- Thahir, R., Altway, A., & Juliastuti, S. R. (2019). Production Of Liquid Fuel From Plastic Waste Using Integrated Pyrolysis Method With Refinery Distillation Bubble Cap Plate Column. *Energy Reports*, 5, 70-77. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2018.11.004>