

Kajian Awal Proses Konversi Limbah Plastik Menjadi Bahan Bakar Alternatif Menggunakan Alat Sederhana pada Skala Praktikum

Junita Tarigan¹, Raju¹

¹Universitas Sumatera Utara;

Email : junitatarigan@usu.ac.id (J.T), raju@usu.ac.id (R);

Abstrak : Limbah plastik merupakan permasalahan lingkungan yang terus meningkat akibat tingginya konsumsi plastik dan sifatnya yang sulit terurai secara alami. Di sisi lain, plastik memiliki kandungan hidrokarbon yang berpotensi dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif melalui proses konversi termal. Penelitian ini bertujuan mengkaji secara eksploratif proses konversi limbah botol plastik menjadi bahan bakar cair menggunakan alat sederhana pada skala praktikum. Metode penelitian menggunakan pendekatan eksperimental dengan pengamatan deskriptif terhadap durasi proses dan karakteristik suhu pemanasan. Alat konversi dirancang sederhana yang terdiri atas reaktor pemanasan berbahan kaleng logam, saluran gas berupa selang plastik, sistem pendingin menggunakan media es, serta wadah penampung hasil kondensasi. Limbah plastik dipanaskan menggunakan kompor sebagai sumber panas, dengan suhu reaktor dicatat setiap 10 menit hingga proses konversi berakhir. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu reaktor meningkat secara bertahap dan mencapai suhu maksimum 360,1 °C yang berada pada rentang pirolisis aktif. Dari massa awal plastik sebesar 300 gram dihasilkan bahan bakar cair sebanyak 6 gram dengan rendemen sebesar 2%, serta sisa padatan sebesar 82 gram. Rendemen cair yang relatif rendah menunjukkan keterbatasan distribusi panas dan efektivitas sistem pendinginan pada alat sederhana. Uji pembakaran menunjukkan bahwa bahan bakar cair hasil pirolisis mampu menyala stabil selama 3 menit 17 detik dengan warna api orange kemerahan, yang mengindikasikan keberadaan fraksi hidrokarbon yang mudah terbakar. Penelitian ini menunjukkan bahwa proses konversi limbah plastik menjadi bahan bakar cair dapat diamati secara nyata menggunakan peralatan sederhana pada skala praktikum dan berpotensi mendukung pembelajaran konversi energi serta pengembangan penelitian lanjutan.

Kata Kunci : limbah plastik, pirolisis, bahan bakar cair, energi alternatif, praktikum

Jurnal Energi Baru & Terbarukan, 2026, Vol. 7, No. 1, pp 1 – 9

Received : 9 Januari 2026

Accepted : 9 Februari 2026

Published : 2 Maret 2026



Copyright: © 2022 by the authors. [Jurnal Energi Baru dan Terbarukan](#) (p-ISSN: [2809-5456](#) and e-ISSN: [2722-6719](#)) published by Master Program of Energy, School of Postgraduate Studies. This article is an open access article distributed under the terms and condition of the [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](#) (CC BY-SA 4.0).

Abstract : Plastic waste has become an increasingly serious environmental problem due to the high consumption of plastic materials and their resistance to natural degradation. On the other hand, plastics contain a high proportion of hydrocarbons, making them potentially suitable as alternative energy sources through thermal conversion processes. This study aims to explore the conversion of plastic bottle waste into liquid fuel using a simple apparatus at a practicum scale. An experimental approach was employed with descriptive observations focusing on process duration and heating temperature characteristics. The conversion system was designed using simple components, consisting of a metal can reactor, a plastic hose as a gas outlet, a cooling system utilizing ice as the cooling medium, and a container for collecting condensed products. Plastic waste was heated using a stove as the heat source, and reactor temperatures were recorded at 10-minute intervals until the conversion process ended. The results showed that the reactor temperature increased gradually and reached a maximum of 360.1 °C, which falls within the active pyrolysis temperature range. From an initial plastic mass of 300 g, 6 g of liquid fuel was produced with a yield of 2%, along with 82 g of solid residue. The relatively low liquid yield indicates limitations in heat distribution and condensation efficiency within the simple system. Combustion tests demonstrated that the produced liquid fuel was able to burn stably for 3 minutes and 17 seconds with an orange-reddish flame, indicating the presence of combustible hydrocarbon fractions. This study demonstrates that plastic waste conversion into liquid fuel can be directly observed using simple equipment at a practicum scale, supporting energy conversion learning and providing a basis for further research with improved system design.

Keywords: plastic waste, pyrolysis, liquid fuel, alternative energy, practicum

1. Pendahuluan

Permasalahan limbah plastik merupakan isu lingkungan yang terus meningkat seiring dengan bertambahnya konsumsi plastik dalam kehidupan sehari-hari. Sifat plastik yang sulit terurai secara alami menyebabkan akumulasinya di lingkungan, baik di darat maupun perairan, sehingga berpotensi menimbulkan pencemaran jangka panjang dan gangguan ekosistem. Pengelolaan limbah plastik yang masih didominasi oleh metode penimbunan dan pembakaran terbuka tidak hanya kurang efektif, tetapi juga berisiko menimbulkan dampak lingkungan dan kesehatan. Di sisi lain, plastik tersusun atas rantai polimer berbasis hidrokarbon yang memiliki nilai kalor relatif tinggi, sehingga secara teoritis berpotensi dimanfaatkan kembali sebagai sumber energi alternatif melalui proses konversi termal (Baharudin et al., 2020)

Salah satu metode konversi termal yang banyak dikaji adalah pirolisis, yaitu proses degradasi termal material organik pada kondisi minim atau tanpa oksigen (Nurulita et al., 2021). Dalam proses pirolisis, ikatan rantai polimer plastik terputus akibat pemanasan pada suhu tertentu, umumnya pada kisaran 300–500 °C, sehingga menghasilkan fraksi gas, cair, dan residu padat (Endang et al., 2016). Fraksi cair yang dihasilkan mengandung senyawa hidrokarbon yang berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan bakar (Yulianto et al., 2019). Proses ini dinilai lebih ramah lingkungan dibandingkan pembakaran langsung karena mampu mengendalikan produk reaksi dan meminimalkan emisi berbahaya apabila dirancang dengan baik.

Berbagai penelitian sebelumnya telah mengkaji konversi limbah plastik menjadi bahan bakar menggunakan teknologi pirolisis dengan sistem reaktor tertutup, kontrol suhu otomatis, dan kondensor berteknologi tinggi yang umumnya berorientasi pada skala industri (Sutisna et al., 2024)(

Nofendri dan Haryanto, 2021). Meskipun mampu menghasilkan rendemen dan kualitas bahan bakar yang lebih baik, pendekatan tersebut memerlukan biaya investasi dan pengoperasian yang relatif tinggi, sehingga sulit diakses oleh institusi pendidikan maupun masyarakat pada skala kecil. Oleh karena itu, pengembangan dan kajian alat konversi berbasis desain sederhana menjadi penting sebagai langkah awal untuk memperkenalkan konsep pirolisis secara aplikatif dan terjangkau.

Penggunaan alat sederhana pada skala praktikum memungkinkan proses pirolisis limbah plastik diamati secara langsung, khususnya dari aspek perubahan suhu, durasi proses, dan terbentuknya produk hasil konversi. Pendekatan ini berperan penting dalam menjembatani pemahaman teoritis dengan aplikasi nyata, terutama bagi mahasiswa di bidang teknik dan energi terapan. Meskipun data yang dihasilkan masih bersifat deskriptif dan memiliki keterbatasan akurasi, informasi mengenai dinamika proses pirolisis tetap memberikan gambaran awal yang penting sebagai dasar pengembangan sistem yang lebih kompleks dan efisien.

Selain sebagai media pembelajaran, alat pirolisis sederhana juga memiliki prospek untuk dikembangkan pada skala rumah tangga atau komunitas kecil. Dengan desain yang mudah dirakit, bahan yang relatif murah, dan prinsip kerja yang sederhana, teknologi ini berpotensi dimanfaatkan sebagai solusi alternatif pengelolaan limbah plastik sekaligus sumber energi skala terbatas. Apabila dilengkapi dengan aspek keselamatan dan sistem pendinginan yang lebih baik, alat ini dapat membantu mengurangi volume limbah plastik rumah tangga serta meningkatkan kesadaran masyarakat terhadap pemanfaatan limbah berbasis prinsip ekonomi sirkular.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilakukan sebagai studi eksploratif untuk mengkaji proses konversi limbah plastik menjadi bahan bakar menggunakan alat sederhana pada skala praktikum. Fokus penelitian diarahkan pada pengamatan durasi proses konversi dan karakteristik suhu pemanasan secara deskriptif. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi awal dalam pengembangan pembelajaran berbasis praktikum, menjadi referensi bagi penelitian lanjutan, serta membuka peluang penerapan teknologi pirolisis sederhana sebagai alternatif pengelolaan limbah plastik dan penyediaan energi pada skala kecil.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dengan sifat eksploratif. Pendekatan ini dipilih untuk mengkaji secara awal proses konversi limbah botol plastik menjadi bahan bakar melalui pemanasan menggunakan peralatan sederhana pada skala praktikum. Penelitian difokuskan pada pengamatan durasi proses konversi dan karakteristik suhu pemanasan secara deskriptif.

2.1 Rancangan Alat Konversi

2.1.1 Rancangan Struktural

Rancangan alat konversi dalam penelitian ini disusun secara sederhana dan terdiri atas beberapa komponen utama yang dirangkai menjadi satu sistem terintegrasi. Komponen utama alat meliputi reaktor pemanasan, saluran gas, sistem pendingin, dan wadah penampung hasil kondensasi.

Reaktor pemanasan berupa kaleng logam dengan tinggi 16 cm dan diameter 15 cm yang berfungsi sebagai tempat pemanasan limbah plastik. Kaleng logam dipilih karena mudah diperoleh, memiliki ketahanan terhadap panas, serta sesuai untuk penerapan skala praktikum. Pada bagian atas kaleng dipasang saluran keluaran berupa selang plastik sebagai jalur aliran gas hasil pemanasan.

Saluran gas menggunakan selang plastik dengan panjang 1,5 meter yang dihubungkan secara langsung dari reaktor pemanasan menuju sistem pendingin. Selang tersebut dililitkan secara spiral pada wadah yang berisi es untuk memperluas bidang kontak antara gas panas dan media pendingin. Pada ujung selang, dipasang wadah penampung sebagai tempat akumulasi cairan hasil kondensasi.

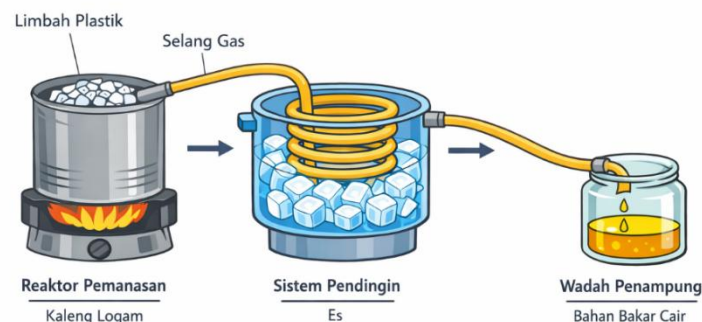
Sumber panas pada sistem ini berasal dari kompor yang ditempatkan tepat di bawah reaktor pemanasan, sehingga panas dapat dihantarkan secara langsung ke kaleng logam. Seluruh rangkaian alat disusun secara statis tanpa tekanan tambahan, sehingga proses berlangsung pada kondisi tekanan mendekati tekanan atmosfer.

2.1.2 Rancangan Fungsional

Secara fungsional, alat konversi dirancang untuk memfasilitasi proses pemanasan limbah plastik hingga menghasilkan gas, yang selanjutnya mengalami pendinginan dan perubahan fase menjadi cairan. Limbah botol plastik yang dimasukkan ke dalam reaktor dipanaskan menggunakan kompor sehingga mengalami degradasi termal dan menghasilkan uap atau gas.

Gas yang terbentuk kemudian dialirkan melalui selang menuju sistem pendingin. Panjang selang yang 1,5 meter serta kontak langsung dengan media es memungkinkan terjadinya penurunan suhu gas secara bertahap. Penurunan suhu ini memicu proses kondensasi, yaitu perubahan fase dari gas menjadi cairan.

Cairan hasil kondensasi selanjutnya mengalir menuju wadah penampung dan dikumpulkan sebagai produk bahan bakar cair hasil konversi. Seluruh proses berlangsung secara berkelanjutan selama pemanasan berlangsung, dengan pengamatan utama difokuskan pada durasi proses dan kondisi suhu secara deskriptif.



Gambar 1. Alat konversi sederhana limbah plastik menjadi bahan bakar

2.2 Pengujian dan Analisis Data

Pengujian dilakukan dengan mengoperasikan alat konversi limbah plastik sesuai rancangan yang telah disusun. Limbah botol plastik dipersiapkan dengan cara dibersihkan, dikeringkan, dan dipotong kecil, kemudian ditimbang sebagai massa awal sebelum dimasukkan ke dalam reaktor.

Proses pemanasan dilakukan menggunakan kompor sebagai sumber panas. Selama pemanasan, suhu reaktor diamati dan dicatat setiap 10 menit selama 40 menit. Lama api menyala dicatat sebagai durasi proses konversi hingga bahan bakar cair tidak lagi terbentuk. Setelah proses selesai, sisa plastik dalam

reaktor ditimbang untuk memperoleh massa akhir. Berat bahan bakar cair yang dihasilkan ditimbang secara sejak awal terbentuk hingga akhir pengujian. Data berupa suhu reaktor terhadap waktu, massa awal dan akhir plastik, lama pemanasan, serta berat bahan bakar cair dianalisis secara deskriptif.

3 Hasil dan Pembahasan

3.1 Suhu Reaktor dan Tahapan Pirolisis

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa suhu reaktor meningkat secara bertahap seiring dengan lamanya proses pemanasan. Pada menit ke-10, suhu reaktor tercatat sebesar 115,5 °C. Pada kisaran suhu ini, plastik belum mengalami pirolisis, melainkan masih berada pada tahap pemanasan awal, di mana energi panas digunakan untuk menaikkan suhu material dan melunakkan struktur polimer.

Pada menit ke-20, suhu reaktor meningkat signifikan hingga mencapai 294,7 °C. Kisaran suhu ini mendekati suhu awal terjadinya pirolisis plastik, khususnya plastik jenis poliolefin seperti PET, HDPE, atau PP. Pada tahap ini, ikatan rantai polimer mulai melemah dan terurai, sehingga mulai terbentuk gas dan uap hidrokarbon ringan sebagai hasil degradasi termal.

Suhu reaktor terus meningkat hingga 343,2 °C pada menit ke-30 dan mencapai 360,1 °C pada menit ke-40. Rentang suhu 300–400 °C merupakan kisaran suhu pirolisis aktif, di mana proses pemutusan rantai polimer berlangsung lebih intensif (Azis dan Batu Rante, 2021). Pada fase ini, terbentuk fraksi gas dan uap hidrokarbon yang lebih banyak, yang kemudian dialirkan menuju sistem pendingin untuk dikondensasikan menjadi bahan bakar cair. Kestabilan kenaikan suhu pada fase ini menunjukkan bahwa proses pirolisis telah berlangsung secara kontinu meskipun menggunakan peralatan sederhana. Karakteristik kenaikan suhu yang relatif cepat pada awal pemanasan dan melambat pada suhu tinggi mencerminkan keterbatasan sistem pemanasan, terutama terkait distribusi panas dalam reaktor dan kehilangan panas ke lingkungan.

Tabel 1. Suhu reaktor selama proses pirolisis

Waktu (menit)	Suhu (°C)				Rata-rata
	Titik pengukuran 1	Titik pengukuran 2	Titik pengukuran 3	Titik pengukuran 4	
10	120,9	139,1	103,3	115,5	119,7
20	151,7	53	192,1	294,7	197,8
30	262,6	278,2	282,2	343,2	291,4
40	252,5	312,7	271,4	360,1	299,1

3.2 Analisis Konversi Massa dan Produk Pirolisis

Berdasarkan hasil penimbangan, massa awal limbah botol plastik sebesar 300 gram menghasilkan bahan bakar cair sebanyak 6 gram, serta sisa plastik padat sebesar 82 gram. Rendemen bahan bakar cair yang diperoleh sebesar 2% dari massa awal plastik. Dalam proses pirolisis, produk yang dihasilkan umumnya terbagi menjadi tiga fraksi utama, yaitu gas, cair, dan residu padat.

Rendemen cair yang relatif rendah menunjukkan bahwa sebagian besar produk pirolisis kemungkinan berada dalam bentuk gas yang tidak sepenuhnya terkondensasi oleh sistem pendingin sederhana. Panjang selang dan media pendingin es yang digunakan belum mampu menurunkan suhu gas secara optimal, sehingga fraksi gas ringan terlepas ke lingkungan. Selain itu, keberadaan sisa plastik padat

sebesar 82 gram menunjukkan bahwa proses pirolisis belum berlangsung sempurna pada seluruh volume plastik di dalam reaktor.

Sisa padatan tersebut dapat berupa plastik yang belum terdegradasi sepenuhnya atau residu karbon (char) hasil pirolisis (Sabitah et.al, 2024). Pada sistem pirolisis skala laboratorium sederhana, pembentukan residu padat sering terjadi akibat distribusi panas yang tidak merata dan keterbatasan kontrol suhu.

3.3 Hubungan Suhu Pirolisis dengan Pembentukan Bahan Bakar Cair

Suhu pirolisis merupakan parameter kunci yang sangat menentukan mekanisme degradasi termal plastik serta distribusi produk yang dihasilkan, baik dalam bentuk gas, cair, maupun residu padat. Pada suhu di bawah 300 °C, energi panas yang diberikan umumnya masih digunakan untuk pemanasan material dan pelunakan struktur polimer, sehingga pemutusan ikatan rantai polimer belum berlangsung secara signifikan (Nasrun et.al., 2016). Oleh karena itu, pembentukan fraksi hidrokarbon cair pada rentang suhu ini masih sangat terbatas.

Ketika suhu reaktor meningkat dan melampaui 300 °C, proses pirolisis mulai berlangsung secara aktif. Pada rentang suhu ini, ikatan karbon–karbon (C–C) pada rantai polimer plastik mulai terputus melalui mekanisme *random chain scission*, menghasilkan molekul hidrokarbon dengan berat molekul lebih rendah (Novita et.al, 2021)(Syamsiro et.al,2014). Senyawa-senyawa hasil pemecahan ini berupa campuran uap hidrokarbon ringan hingga menengah yang berpotensi terkondensasi menjadi bahan bakar cair apabila mengalami pendinginan yang cukup. Oleh karena itu, suhu reaktor di atas 300 °C merupakan kondisi awal yang memungkinkan terbentuknya fraksi cair dari proses pirolisis plastik.

Pada penelitian ini, suhu maksimum reaktor mencapai 360,1 °C, yang berada dalam kisaran suhu pirolisis aktif untuk plastik jenis poliolefin. Kondisi ini menunjukkan bahwa secara termal, sistem telah mampu menyediakan energi yang cukup untuk terjadinya degradasi rantai polimer secara intensif. Namun, suhu yang relatif tinggi juga dapat mendorong pembentukan fraksi gas dalam jumlah lebih besar, terutama apabila laju pemanasan berlangsung cepat dan waktu tinggal (*residence time*) uap pirolisis di dalam sistem pendinginan relatif singkat. Pada kondisi tersebut, sebagian uap hidrokarbon ringan tidak sempat mengalami kondensasi dan terlepas sebagai gas.

Efisiensi pembentukan bahan bakar cair tidak hanya ditentukan oleh suhu reaktor, tetapi juga oleh keseimbangan antara laju pembentukan uap dan kemampuan sistem kondensasi dalam menurunkan suhu uap tersebut. Pada alat sederhana yang digunakan dalam penelitian ini, keterbatasan panjang saluran pendingin, luas permukaan perpindahan panas, serta media pendingin menyebabkan proses kondensasi tidak berlangsung secara optimal. Akibatnya, fraksi hidrokarbon yang seharusnya dapat terkondensasi menjadi cairan sebagian besar tetap berada dalam fase gas (Ridhuan et.al, 2019).

Hasil ini menunjukkan bahwa meskipun suhu pirolisis telah mencapai kondisi yang memadai untuk pembentukan bahan bakar cair, efisiensi konversi sangat dipengaruhi oleh desain sistem secara keseluruhan. Optimalisasi suhu pirolisis perlu diimbangi dengan pengendalian laju pemanasan dan peningkatan kinerja kondensor agar fraksi cair yang dihasilkan dapat ditingkatkan. Dengan demikian, hubungan antara suhu pirolisis dan pembentukan bahan bakar cair bersifat tidak linear dan sangat bergantung pada integrasi antara kondisi termal reaktor dan efektivitas sistem pendinginan dalam menangkap produk pirolisis.

3.4 Keterkaitan Karakteristik Pembakaran dengan Nilai Kalor dan Perbandingan dengan Bahan Bakar Konvensional

Kemampuan bahan bakar cair hasil pirolisis untuk menyala stabil selama 3 menit 17 detik menunjukkan bahwa produk yang dihasilkan memiliki kandungan energi yang cukup tinggi. Secara teoritis, bahan bakar cair hasil pirolisis plastik, khususnya plastik berbasis poliolefin seperti PE, PP, atau PET, memiliki nilai kalor yang relatif tinggi karena tersusun atas rantai hidrokarbon dengan rasio hidrogen terhadap karbon yang cukup besar (Islami et.al, 2019). Berbagai studi melaporkan bahwa nilai kalor bahan bakar pirolisis plastik berada pada kisaran 40–45 MJ/kg, yang mendekati bahkan dapat sebanding dengan bahan bakar fosil konvensional (Alit dan Made, 2025).

Jika dibandingkan secara kualitatif, nilai kalor teoritis minyak tanah berada pada kisaran 43 MJ/kg (Rasmin et.al, 2020), sedangkan bahan bakar diesel sekitar 45 MJ/kg. Dengan demikian, secara energi, bahan bakar cair hasil pirolisis plastik memiliki potensi yang kompetitif. Hal ini sejalan dengan hasil uji pembakaran pada penelitian ini, di mana bahan bakar mampu mempertahankan nyala api secara kontinu selama beberapa menit, menandakan adanya pelepasan energi yang relatif stabil selama proses pembakaran.

Namun demikian, perbedaan utama antara bahan bakar pirolisis plastik dengan bahan bakar konvensional terletak pada kualitas pembakaran dan homogenitas komposisi. Minyak tanah dan diesel merupakan bahan bakar yang telah melalui proses pemurnian dan fraksinasi yang ketat, sehingga memiliki komposisi hidrokarbon yang lebih seragam dan karakteristik pembakaran yang lebih bersih. Hal ini tercermin dari warna api yang cenderung lebih terang dan stabil, serta pembentukan jelaga yang minimal pada kondisi pembakaran normal (Faisal et.al, 2023).

Sebaliknya, bahan bakar cair hasil pirolisis plastik pada penelitian ini menunjukkan warna api orange kemerahan, yang mengindikasikan pembakaran yang belum sempurna. Fenomena ini menunjukkan bahwa meskipun nilai kalor teoritisnya tinggi, efisiensi pelepasan energi belum optimal akibat keberadaan fraksi hidrokarbon berat, senyawa tak jenuh, dan kemungkinan pengotor hasil pirolisis. Fraksi berat tersebut cenderung sulit menguap dan membutuhkan energi aktivasi lebih tinggi untuk terbakar secara sempurna, sehingga menghasilkan nyala api berwarna jingga dan pembentukan partikel karbon.

Dengan demikian, hasil uji pembakaran ini mengindikasikan bahwa bahan bakar pirolisis plastik memiliki potensi energi yang sebanding dengan bahan bakar konvensional, tetapi masih memiliki keterbatasan dari sisi kualitas dan efisiensi pembakaran. Untuk mendekati karakteristik minyak tanah atau diesel, diperlukan tahapan lanjutan seperti destilasi fraksional untuk memisahkan fraksi ringan, peningkatan sistem kondensasi, serta pengendalian kondisi pirolisis agar distribusi produk lebih terarah. Pada skala terbatas, bahan bakar pirolisis plastik tetap berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif, khususnya untuk aplikasi non-kritis dan kebutuhan energi skala kecil, sambil tetap membuka peluang pengembangan menuju kualitas yang lebih setara dengan bahan bakar fosil konvensional.

4. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa limbah botol plastik dapat dikonversi menjadi bahan bakar cair melalui proses pirolisis menggunakan alat sederhana pada skala praktikum. Proses pemanasan plastik pada suhu 300–360 °C mampu memicu degradasi rantai polimer dan menghasilkan fraksi hidrokarbon cair, meskipun sebagian besar produk tetap berada dalam bentuk gas akibat keterbatasan sistem

kondensasi. Rendemen bahan bakar cair yang dihasilkan relatif rendah (2% dari massa awal plastik), dan sisa plastik padat menunjukkan proses pirolisis belum berlangsung sempurna pada seluruh volume material.

Daftar Pustaka

- Alit, I. B., dan Made, I. (2025). Bahan bakar dari limbah ban dan plastik dengan metode pirolisis. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*, 13(1). <https://doi.org/10.23887/jptm.v13i1.83758>
- Azis, H., dan Batu Rante, H. (2021). Produksi bahan bakar cair dari limbah plastik polypropylene (PP) metode pirolisis. *Journal of Chemical and Process Engineering*, 6(1). <https://doi.org/10.33536/jcpe.v6i1.689>
- Baharudin, H., Windarta, J., dan Giovanni, E. (2020). Konversi limbah plastik menjadi bahan bakar. *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, 1(1). <https://doi.org/10.14710/jebt.2020.8132>
- Endang, K., Mukhtar, G., Nego, A., dan Sugiyana, F. X. A. (2016). Pengolahan sampah plastik dengan metoda pirolisis menjadi bahan bakar minyak. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan”: Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia*. Yogyakarta, Indonesia. ISSN 1693-4393
- Faisal, F., Rasul, M. G., Jahirul, M. I., & Chowdhury, A. A. (2023). Waste plastics pyrolytic oil is a source of diesel fuel: A recent review on diesel engine performance, emissions, and combustion characteristics. *Science of The Total Environment*, 886, 163756. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163756>
- Islami, A., Sutrisno, S., & Heriyanti, H. (2019). Pirolisis sampah plastik jenis polipropilena (PP) menjadi bahan bakar cair–premium-like. *JC-T (Journal Cis-Trans): Jurnal Kimia dan Terapannya*, 3(2). <https://doi.org/10.17977/um0260v3i22019p001>
- Nasrun, N., Kurniawan, E., dan Sari, I. (2016). Studi awal produksi bahan bakar dari proses pirolisis kantong plastik bekas. *Jurnal Teknologi Unimal*, 5(1), 30–44. <https://doi.org/10.29103/jtku.v5i1.77>
- Nofendri, Y., dan Haryanto, A. (2021). Perancangan alat pirolisis sampah plastik menjadi bahan bakar. *Jurnal Kajian Teknik Mesin*, 06(01), 1–11.
- Novita, S., Santosa, S., Nofialdi, N., Andasuryani, A., & Fudholi, A. (2021). Artikel review: Parameter operasional pirolisis biomassa. *Agroteknika*, 4(1). <https://doi.org/10.32530/agroteknika.v4i1.105>
- Nurulita, B., Daulay, S., Saputra, A., Gunawan, F., Rizka, V., Sutrisno, J., dan Silitonga, A. S. (2021). Rancang bangun alat konversi limbah plastik–batok kelapa menjadi bahan bakar alternatif dengan metode pirolisis. *SINERGI POLMED: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 2(2). <https://doi.org/10.51510/sinergipolmed.v2i2.22>
- Rasmin, R., Sudia, B., dan Hasanuddin, L. (2020). Analisis performa kompor bertekanan menggunakan bahan bakar minyak pirolisis dan minyak tanah. *ETHALPY: Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Mesin*, 5(2), 56–62.
- Ridhuan, K., Irawan, D., Zanaria, Y., & Firmansyah, F. (2019). Pengaruh jenis biomassa pada pembakaran pirolisis terhadap karakteristik dan efisiensi bioarang–asap cair yang dihasilkan. *Media Mesin: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 20(1), 18–27.
- Sabitah, A., Ardiyat, I. N., Misbachudin, M., Wusko, I. U., & Ningsih, R. (2024). Analisis proses pirolisis limbah plastik HDPE dan PET: Pengaruh temperatur dan waktu reaksi dalam upaya daur ulang plastik. *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika*, 9(1). <https://doi.org/10.20527/sjmekinematika.v9i1.318>

- Sutisna, U., Sugiantoro, B., Soleh, M., Martuti, N. K. T., Widowati, W., dan Sunyoto, S. (2024). Inovasi reaktor pirolisis sampah plastik campuran sampah perkotaan dengan tabung mendatar dan kondensor bertingkat kapasitas 50 kg self-sufficient. Prosiding Seminar Hasil Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat, 7(1). https://doi.org/10.47767/sehati_abdimas.v7i1.931
- Syamsiro, M., Saptoadi, H., Norsujianto, T., Noviasri, P., Cheng, S., Alimuddin, Z., & Yoshikawa, K. (2014). Produksi minyak bakar dari limbah plastik perkotaan dalam reaktor pirolisis sekuensial dan reformasi katalitik. *Energy Procedia*, 47, 180–188
- Yulianto, W., Nuryosuwito, N., dan Rhohman, F. (2019). Perbandingan bahan bakar premium dengan produk cair hasil pyrolisis plastik PET dan PP. *Jurnal Mesin Nusantara*, 1(2). <https://doi.org/10.29407/jmn.v1i2.13627>