

TEKNOLOGI PIROLISIS BERBAHAN KEMASAN BISKUIT DAN AIR MINERAL UNTUK PEMBUATAN BAHAN BAKAR CAIR

Yan El Rizal Unzilattirrizqi D.*¹

¹Program Studi Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhadi Setiabudi Brebes

e-mail: *yerudewantoro@gmail.com

Abstrak

Limbah pangan merupakan masalah yang tidak bisa lepas dari produksi dan hasil teknologi pangan. Pemanfaatan limbah pangan berupa kemasan kaleng menjadi reaktor pirolisis menjadi salah satu solusi dalam pemanfaatan limbah pangan. Penelitian ini bertujuan untuk membuat alat pirolisis berbahan kemasan biskuit untuk menghasilkan bahan bakar cair. Penelitian ini menggunakan Kaleng biskuit sebagai reaktor pirolisis dan plastik kemasan minuman jenis polypropylene (PP) sebagai bahan pembuat bahan bakar cair (bbm), pipa besi untuk mengalirkan fluida, dan gas Liquid Petroleum Gas (LPG) sebagai sumber panas. Hasil bahan bakar cair yang dihasilkan memiliki densitas sebesar 0,741 g/mL dan cukup efektif secara waktu untuk mendidihkan air. Hasil penelitian ini penting untuk pijakan dalam pembuatan energi alternatif berbasis sampah untuk kelangsungan energi dan lingkungan berkelanjutan.

Kata kunci—pirolisis, kemasan biskuit, kemasan air mineral, limbah pangan

Abstract

Food waste is a problem that cannot be separated from the production and effects of food technology. Utilization of food waste in the form of canned packaging into a pyrolysis reactor is one solution in utilizing food waste. This study aims to create a pyrolysis tool made from biscuit packaging to produce liquid fuel. This study uses biscuit cans as a pyrolysis reactor and polypropylene (PP) beverage packaging plastic as a material for making liquid fuel (bbm), iron pipes to flow fluids, and Liquid Petroleum Gas (LPG) as a heat source. The resulting liquid fuel has a density of 0.741 g/mL and is quite effective in terms of time to boil water. The results of this study are important as a foothold in making alternative energy based on waste for sustainable energy and a sustainable environment.

Keywords— pyrolysis, biscuit packaging, mineral water packaging, food waste

1. PENDAHULUAN

Permasalahan sampah merupakan persoalan yang sangat kompleks dan mendapat perhatian secara global karena sifatnya yang sulit untuk terurai [1]. Setiap hari, jumlah sampah yang dihasilkan oleh manusia terus meningkat sejalan dengan pertumbuhan populasi dan peningkatan daya beli masyarakat terhadap berbagai jenis barang kebutuhan pokok yang semakin meningkat [2]. Sampah ialah material atau bahan sisa yang sudah tidak terpakai, tidak disenangi atau sesuatu yang harus dibuang, yang umumnya hasil dari kegiatan manusia yang apabila tidak dikelola akan menimbulkan efek negatif terhadap lingkungan [3], [4]. Salah satu limbah yang cukup banyak dan terus bertambah ialah limbah kemasan pangan yang biasanya berupa plastik dan kaleng. Masalah limbah plastik

terutama hasil produksi makanan dan minuman merupakan sebuah tantangan utama dalam usaha pengelolaan lingkungan [5]. Kemasan biskuit dalam bentuk kaleng dan kemasan air mineral berbahan *polypropylene (PP)* memberikan kontribusi yang cukup besar terhadap jumlah limbah yang sulit terurai di lingkungan [6], [7].

Berdasarkan data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) Tahun 2023, limbah kaleng dan plastik di Indonesia terus meningkat setiap tahun, mengakibatkan dampak negatif bagi ekosistem dan kesehatan manusia. Pengolahan limbah plastik dan kaleng, termasuk kemasan biskuit, dapat mengurangi dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh limbah tersebut. Secara umum pengolahan sampah di Indonesia masih menggunakan metode secara landfill (sebanyak 65–70% dari total metode penanganan limbah) yang berpotensi menimbulkan masalah baru. Penanganan dengan cara insinerasi (dilakukan sebanyak 20–25%) juga berpotensi sebagai sumber pencemar udara dengan adanya emisi gas buang (CO₂, CO, NO_x, dan SO_x) dan beberapa partikulat pencemar lainnya. Metode alternatif lainnya juga dilakukan pengolahan menggunakan metode 3R (*recycle, reduce, reuse*) yang lebih aman dan ramah lingkungan untuk mencapai *zero waste* namun kualitas produk hasil pengolahan ini menurun secara ekonomi sehingga masyarakat masih belum antusias untuk memanfaatkan hasil produk pengolahannya [8], [9]. Berdasarkan hal tersebut perlu dilakukan pengolahan yang lebih mutakhir dari pemanfaatan sampah plastik, yang pastinya memiliki nilai jual dan nilai ekonomis yang lebih tinggi dari pengolahan sebelumnya. Salah satunya dengan mengolah sampah plastik menjadi alternatif bahan bakar yang ramah lingkungan [10].

Teknologi pirolisis merupakan salah satu metode yang menjanjikan untuk mengolah limbah padat menjadi bahan bakar alternatif [11]. Limbah kemasan biskuit sering kali terabaikan padahal berpotensi dalam kontribusi pencemaran lingkungan yang serius. Kemasan biskuit umumnya terbuat dari bahan plastik dan aluminium, yang sulit terurai secara alami. Oleh karena itu, pemanfaatan pirolisis untuk mengubah kemasan ini menjadi bahan bakar minyak dapat menjadi solusi yang berkelanjutan [12]. Proses pirolisis menggunakan pemanasan bahan pada suhu tinggi pada kondisi hampa udara tanpa oksigen hasil dekomposisi panas dari material yang dipanaskan. Hasil dari proses ini dapat berupa gas, minyak, dan char, di mana minyak yang dihasilkan dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif untuk berbagai kebutuhan [13].

Penerapan teknologi pirolisis tidak hanya berpotensi mengurangi jumlah limbah pangan, tetapi juga berpotensi sebagai penghasil sumber energi yang terbarukan [14]. Peningkatan kesadaran tentang pentingnya pengelolaan limbah dan transisi energi terbarukan, penelitian tentang pirolisis bahan kemasan biskuit menjadi sangat relevan. Selain itu, upaya untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas proses pirolisis akan membuka peluang baru dalam pengembangan teknologi energi terbarukan. Penggunaan kemasan biskuit sebagai bahan baku dalam proses pirolisis menawarkan potensi yang besar. Bahan kemasan ini kaya akan hidrokarbon, yang dapat diubah menjadi bahan bakar minyak berkualitas. Selain itu, pemanfaatan limbah kemasan biskuit dalam teknologi pirolisis sejalan dengan prinsip ekonomi sirkular, yang bertujuan untuk meminimalkan limbah dan memaksimalkan penggunaan sumber daya [7].

Penelitian ini bertujuan untuk membuat bahan bakar cair memanfaatkan limbah kemasan berupa kaleng biskuit untuk reaktor pirolisis dan limbah kemasan air mineral sebagai bahan utama untuk pembuatan bahan bakar cair [15], [16]. Penelitian sebelumnya pernah dilakukan oleh Viridi (2018) yang meneliti Rancang Bangun Alat Pirolisis Sederhana untuk Mengolah Limbah Plastik Polipropilena (PP) menjadi Bahan Bakar Cair (BBC) dengan alat pemanas minyak tanah [15]. Miladi (2022), juga meneliti tentang perlu adanya pengolahan yang lebih mutakhir dari pemanfaatan sampah plastik, yang pastinya memiliki nilai jual dan nilai ekonomis yang lebih tinggi dari pengolahan sebelumnya [10]. Salah satunya dengan mengolah

sampah plastik menjadi alternatif bahan bakar yang ramah lingkungan tetapi hasilnya masih bersifat umumnya fokus pada lama pemanasan. Adoe dkk (2023), melakukan penelitian tentang Karakterisasi Minyak Hasil Pirolisis Berbahan Dasar Limbah Plastik Jenis Polypropylene (PP) [16]. Penelitian yang akan dilakukan mengkaji lebih dalam mengenai efektivitas teknologi pirolisis dalam penggunaan kemasan biskuit dan botol air mineral menjadi bahan bakar cair, serta memberikan kontribusi terhadap pengurangan limbah plastik dan pencarian sumber energi terbarukan. Dengan meningkatnya kesadaran akan pentingnya pengelolaan limbah dan transisi menuju energi terbarukan, penelitian tentang pirolisis bahan kemasan biskuit sebagai reaktor dan kemasan air mineral sebagai bahan baku menjadi sangat relevan.

2. METODE PENELITIAN

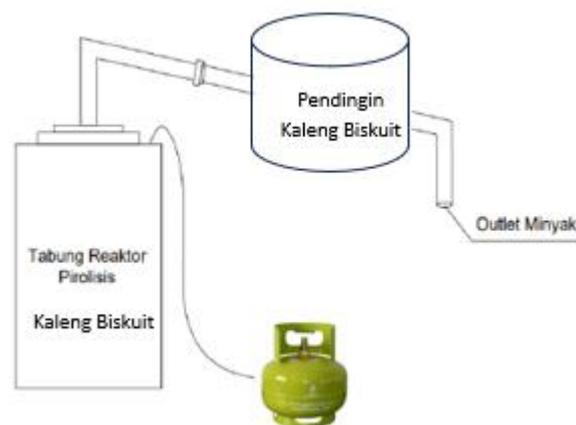
Penelitian ini dilakukan langsung secara eksperimen dengan membuat alat pirolisis pengubah limbah kemasan air mineral dengan reaktor berbahan kemasan kaleng biskuit untuk membuat bahan bakar cair.

2.1 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini berupa limbah plastik jenis Polypropylene (PP) dengan tutup kemasan warna biru tua yang di cacah kecil, gas LPG 3 Kg, Air untuk pendingin dan uji didih. Plastik botol air mineral dibersihkan dan kemudian dikeringkan sebelum dicacah.

2.2 Alat

Peralatan-peralatan yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari kaleng bekas biskuit sebagai reaktor pirolisis (Kotak), Kaleng bekas biskuit berbentuk tabung, pipa besi sebagai tempat aliran fluida (cairan dan gas) hasil proses pirolisis, lem pipa besi, beerglass, gelas ukur, neraca analitik, dan stopwatch untuk mengukur lama pendidihan air.



Gambar 1. Alat Pirolisis Berbahan Limbah Biskuit

2.3 Rancangan Penelitian dan Analisis Statistik

Percobaan pembuatan alat dan ujicoba alat dilakukan di Laportorium Rekayasa Proses Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Muhadi Setiabudi. Sampah plastik dari botol air mineral dikumpulkan, dibersihkan, dan dikeringkan yang selanjutnya dipotong kecil-kecil dan ditimbang massanya.

a. Pembuatan Reaktor Pirolisis

Kaleng biskuit berbahan aluminium berbentuk balok/kotak dibersihkan dan dibuat lubang dibagian atas tutupnya selebar pipa besi yang akan dipakai. Pipa besi pada sambungan lubang kaleng diberi lem agar kedap udara. Kemudian potongan limbah botol air mineral yang sudah dipotong kecil-kecil dimasukkan dalam kaleng dan tutup rapat sampai kondisi hampa udara. Kaleng pendingin diisi air dengan lubang air masuk dan keluar sehingga proses pendinginan uap bisa dilakukan.

b. Proses Pirolisis

Tabung reaktor dibakar kurang lebih 100 menit. Pembakaran dari sampah plastik menguap dan masuk kedalam pipa besi. Minyak hasil penguapan tersebut keluar melalui pipa besi, mengembun dan kemudian ditampung menggunakan gelas ukur.

c. Pengujian Massa Jenis Bahan Bakar Cair

Bahan bakar cair hasil pirolisis di uji massa jenisnya berdasarkan standar *American Society for Testing and Materials (ASTM)* [15]. Sampel bahan bakar cair diukur pada suhu 25⁰C dengan menggunakan perhitungan:

$$\rho = \frac{w_2 - w_1}{V}$$

Dengan:

ρ = densitas (g/mL)

w₂ = massa botol berisi Bahan Bakar Cair (g)

w₁ = massa botol kosong (g)

V = volume Bahan Bakar Cair dalam botol (mL)

d. Pengujian Efisiensi Pembakaran

Efisiensi pembakaran diukur dengan cara memanaskan air sebanyak 10 mL pada suhu 30⁰C dan tekanan 1 atm dengan menggunakan bahan bakar cair hasil pirolisis sebanyak 50 mL sampai air mencapai titik didihnya [17].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini mengeksplorasi penggunaan kaleng biskuit sebagai reaktor pirolisis untuk mengolah plastik kemasan minuman jenis *polypropylene (PP)* menjadi bahan bakar cair. Proses pirolisis dilakukan dengan memanfaatkan gas Liquid Petroleum Gas (LPG) sebagai sumber panas, yang memungkinkan pemanasan yang efisien dan terkendali. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bahan bakar cair yang dihasilkan memiliki densitas sebesar 0,741 g/mL. Densitas ini menunjukkan bahwa bahan bakar cair yang dihasilkan memiliki karakteristik yang sesuai untuk digunakan sebagai bahan bakar alternatif. Hasil dari penelitian ini menghasilkan bahan bakar cair dengan rincian sebagai berikut.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Densitas Bahan Bakar Cair Hasil Pirolisis

Bahan BBM	Volume (mL)	Massa Bahan Bakar Cair (g)	Densitas Bahan Bakar Cair
Botol Air Mineral (Botol Biru Tua)	100	74,1	0,741

Densitas bahan bakar cair yang dihasilkan dari pirolisis plastik polypropylene (PP) dalam penelitian ini, yang tercatat sebesar 0,741 g/mL, menunjukkan kesesuaian dengan hasil penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa produk pirolisis dari plastik PP dapat memiliki densitas yang bervariasi. Variasi densitas ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk kondisi proses

pirolisis, jenis plastik yang digunakan, dan komposisi kimia dari bahan baku. Penelitian oleh Rahman et al. (2023) menunjukkan bahwa densitas produk pirolisis dari plastik PP dapat berkisar antara 0,7 hingga 0,9 g/mL, tergantung pada suhu dan waktu proses pirolisis [13]. Pada suhu yang lebih tinggi, produk pirolisis cenderung memiliki densitas yang lebih rendah karena dekomposisi yang lebih lengkap dari rantai polimer, menghasilkan fraksi cair yang lebih ringan. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian ini, di mana penggunaan LPG sebagai sumber panas memungkinkan pengendalian suhu yang lebih baik, berkontribusi pada efisiensi proses dan kualitas produk.

Densitas yang lebih rendah dari 0,8 g/mL, seperti yang dihasilkan dalam penelitian ini, menunjukkan bahwa bahan bakar cair ini dapat bersifat lebih ringan dan lebih mudah untuk diangkut dan disimpan. Penelitian oleh Murthy et al (2023) menekankan bahwa bahan bakar dengan densitas rendah memiliki keuntungan dalam hal transportasi dan penyimpanan, serta dapat digunakan dalam aplikasi yang memerlukan bahan bakar dengan sifat tertentu, seperti dalam mesin pembakaran atau sebagai bahan bakar alternatif untuk pemanasan [12]. Produk pirolisis dari plastik PP tidak hanya memiliki densitas yang menguntungkan tetapi juga nilai kalor yang tinggi, yang menjadikannya sebagai alternatif yang menarik dibandingkan dengan bahan bakar fosil konvensional. Nilai kalor yang tinggi ini, dikombinasikan dengan densitas yang rendah, memberikan potensi besar untuk aplikasi dalam industri energi dan transportasi [13]. Efisiensi bahan bakar cair hasil pirolisis menggunakan reaktor dari kaleng biskuit dan bahan kemasan air mineral ditunjukkan pada Tabel berikut.

Tabel 2. Hasil Pengujian Efisiensi Bahan Bakar Cair Hasil Pirolisis

Bahan Bakar Cair	Temperatur Pendidihan Air (°C)		Temperatur Rata-Rata (°C)	Waktu Pendidihan Air (menit)		Waktu Rata - Rata (menit)
	1	2		1	2	
	Kemasan Air Mineral	90		90	90	

Hasil penelitian menunjukkan bahwa bahan bakar cair ini dapat mendidihkan air hingga 90 derajat Celsius dalam waktu 7,265 menit. Waktu yang relatif singkat ini menunjukkan bahwa bahan bakar cair memiliki efisiensi yang baik dalam mentransfer energi panas ke air. Efisiensi pemanasan dari bahan bakar cair yang dihasilkan dari pirolisis plastik dapat dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti densitas, viskositas, dan komposisi kimia. Bahan bakar dengan densitas yang lebih rendah dan viskositas yang lebih baik cenderung memiliki efisiensi pemanasan yang lebih tinggi, karena memungkinkan aliran yang lebih baik dan transfer panas yang lebih efisien [12].

Komposisi kimia dari bahan bakar cair hasil pirolisis juga berperan penting dalam efisiensinya. Produk pirolisis umumnya terdiri dari campuran hidrokarbon, yang dapat bervariasi tergantung pada jenis plastik yang digunakan. Produk pirolisis dari plastik PP dan PET dapat menghasilkan fraksi cair yang kaya akan hidrokarbon, yang memiliki potensi tinggi sebagai bahan bakar alternatif [13]. Kualitas bahan bakar ini, termasuk kandungan sulfur dan nitrogen, juga mempengaruhi efisiensi pembakaran dan emisi yang dihasilkan. Efektivitas waktu dalam mendidihkan air juga menjadi salah satu aspek penting dari penelitian ini. Hasil yang menunjukkan bahwa bahan bakar cair ini cukup efektif untuk mendidihkan air menunjukkan potensi aplikatifnya dalam penggunaan sehari-hari. Penelitian sebelumnya mencatat bahwa bahan bakar cair yang dihasilkan dari pirolisis plastik dapat memiliki nilai kalor yang tinggi, sehingga dapat digunakan untuk berbagai aplikasi pemanasan [18]. Nilai kalor yang tinggi ini menjadikan bahan bakar cair dari pirolisis sebagai alternatif yang menarik dibandingkan dengan bahan bakar fosil konvensional.

Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan kontribusi yang signifikan terhadap pengembangan teknologi pirolisis sebagai solusi untuk mengatasi masalah limbah plastik,

khususnya kemasan biskuit dan plastik PP. Dengan hasil yang menunjukkan potensi bahan bakar cair yang dihasilkan, penelitian ini membuka peluang untuk penelitian lebih lanjut dalam pengembangan teknologi yang lebih efisien dan ramah lingkungan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian penggunaan kaleng biskuit sebagai reaktor pirolisis untuk mengolah plastik kemasan minuman jenis *polypropylene (PP)* menjadi bahan bakar cair menunjukkan bahwa bahan bakar cair yang dihasilkan memiliki densitas sebesar 0,741 g/mL. Bahan bakar cair ini mendidihkan air hingga 90 derajat Celsius dalam waktu 7,265 menit. Waktu yang relatif singkat ini menunjukkan bahwa bahan bakar cair memiliki efisiensi yang baik dalam mentransfer energi panas ke air.

5. SARAN

Berdasarkan hasil penelitian terlihat bahwa efisiensi bahan bakar cair hasil pirolisis dari kaleng biskuit dan kemasan air mineral menunjukkan hasil yang menjanjikan dalam hal kemampuan untuk mendidihkan air dengan cepat dan efisien. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengoptimalkan parameter proses pirolisis, seperti suhu, waktu, dan rasio bahan baku. Penyesuaian ini dapat meningkatkan efisiensi konversi dan kualitas bahan bakar cair yang dihasilkan. Selain itu juga bisa dilakukan penelitian lanjutan untuk eksplorasi penggunaan berbagai jenis limbah plastik, termasuk kombinasi antara PP, PET, dan jenis plastik lainnya, analisis emisi bahan bakar, dan pengembangan reaktor pirolisis yang lebih efisien dan ramah lingkungan serta desain reaktor yang lebih dapat meningkatkan pemindahan panas dan efisiensi keseluruhan dari proses pirolisis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. E. R. Unzilatirrizqi D, S. Mukodiningsih, B. Cahyono, S. Mutmainah, and Z. R. Utama Putra, "Brebes Shallot Skin Waste Feed Mixture as a Lowering of Tegal Duck Cholesterol Levels," *IOP Conf Ser Earth Environ Sci*, vol. 1275, no. 1, p. 012030, Nov. 2023, doi: 10.1088/1755-1315/1275/1/012030.
- [2] Y. E. R. Unzilatirrizqi D and W. Wadli, "Energi Alternatif Biobriket Dari Kombinasi Limbah Ampas Kopi Dan Limbah Bawang Merah," *Jurnal Ilmu Lingkungan*, vol. 16, no. 2, p. 141, Sep. 2022, doi: 10.31258/jil.16.2.p.141-149.
- [3] Y. El, R. Unzilatirrizqi, S. Mutmainah, and A. K. Kurniawan, "Flavonoid content analysis of brebes red onion skin waste flour as a low-cholesterol duck fodder mixture," 2022. [Online]. Available: www.ijobas.pelnus.ac.id
- [4] Y. El *et al.*, "Pemanfaatan Limbah Ampas Tahu menjadi Bolu Batik Kukus terhadap Tingkat Kesukaan Kata kunci." [Online]. Available: <http://Jiip.stkipyapisdampu.ac.id>
- [5] A. Wulandari, Wadli, and Y. E. R. U. D, "Pengaruh Berbagai Jenis Kemasan Produk Telur Asin Brebes Terhadap Tingkat kekuatan Kemasan," *Buletin Poltanesa*, vol. 23, no. 2, Dec. 2022, doi: 10.51967/tanesa.v23i2.1339.
- [6] M. M. Hasan, R. Haque, M. I. Jahirul, and M. G. Rasul, "Pyrolysis of plastic waste for sustainable energy Recovery: Technological advancements and environmental impacts," *Energy Convers Manag*, vol. 326, p. 119511, Feb. 2025, doi: 10.1016/j.enconman.2025.119511.
- [7] J. Ascha. , A. R. Setyawati. , dan A. S. S. Riandis, "Plastic Waste Processing Using Pyrolysis Method Into Fuel Oil," *Jurnal Chemurgy*, vol. 5, no. 1, pp. 8–14, Jun. 2021.

- [8] D. Iswadi *et al.*, “Pemanfaatan Sampah Plastik Ldpe Dan Pet Menjadi Bahan Bakar Minyak Dengan Proses Pirolisis Utilization of LDPE and PET Plastic Waste into Oil Fuel By Pyrolysis Process,” 2017.
- [9] Y. El and R. U. Dewantoro, “Fantastic Food Waste: Pengolahan Limbah Menjadi Kompos Dan Pengolahan Limbah Menjadi Biobriket,” vol. 1, no. 1, pp. 60–64, 2021.
- [10] F. A. Miladi, “Pemanfaatan Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Ramah Lingkungan,” *NIHAIYYAT: Journal of Islamic Interdisciplinary Studies*, vol. 1, no. 3, Dec. 2011.
- [11] A. V. Bridgwater, “Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading,” *Biomass Bioenergy*, vol. 38, pp. 68–94, Mar. 2012, doi: 10.1016/j.biombioe.2011.01.048.
- [12] K. Murthy, R. J. Shetty, and K. Shiva, “Plastic waste conversion to fuel: a review on pyrolysis process and influence of operating parameters,” *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, vol. 45, no. 4, pp. 11904–11924, Oct. 2023, doi: 10.1080/15567036.2020.1818892.
- [13] M. H. Rahman, P. R. Bhoi, and P. L. Menezes, “Pyrolysis of waste plastics into fuels and chemicals: A review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 188, p. 113799, Dec. 2023, doi: 10.1016/j.rser.2023.113799.
- [14] Y. B. Sonawane, M. Shindikar, M. Khaladkar, S. Yb, S. Mr, and K. My, “Use of Catalyst in Pyrolysis of Polypropylene Waste into Liquid Fuel,” 2015. [Online]. Available: www.isca.me
- [15] S. Viridi, *Rancang Bangun Alat Pirolisis Sederhana untuk Mengolah Limbah Plastik Polipropilena (PP) menjadi Bahan Bakar Cair (BBC)*. 2019. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/333056738>
- [16] D. G. H. Adoe, D. Y. Satria, and A. Sanusi, “Karakterisasi Minyak Hasil Pirolisis Berbahan Dasar Limbah Plastik Jenis Polypropylene (PP),” *LONTAR Jurnal Teknik Mesin Undana*, vol. 10, no. 02, pp. 15–22, Oct. 2023, doi: 10.35508/ljtmu.v10i02.13435.
- [17] S. N. dan A. M. D. Agustina, “Efektivitas Penggunaan Bioetanol dari Limbah Padat Alang-Alang (*Imperata cylindrica* (L) Beauv.) terhadap Lama Pembakaran Kompor Bioetanol,” *Jurnal Sains dan Seni ITS*, vol. 4, no. 1, pp. 10–14, 2015.
- [18] M. Sigit Cahyono, S. Haryono, and W. Widya Mandala, “Proses Pirolisis Untuk Mengkonversi Limbah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak Menggunakan Penyaringan Adsorban (Arang dan Zeolit),” 2021.