

Karakterisasi Minyak Hasil Pirolisis Berbahan Dasar Limbah Plastik Jenis Polypropylene (PP)

Dominggus G. H. Adoe¹, Devi Yola Satria², Arifin Sanusi³

¹⁻³) Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknik Universitas Nusa Cendana
Jl. Adisucipto, Penfui-Kupang, NTT 85001, Tlp. (0380)881597

*Corresponding author: godliefmesin@staf.undana.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik minyak pirolisis sampah plastik dan membandingkannya dengan karakteristik dari bensin. Hal yang diteliti meliputi sifat fisik dan kimia minyak pirolisis. Sifat fisik yang diteliti meliputi viskositas dan massa jenis, sedangkan sifat kimia adalah nilai kalor. Penelitian dilakukan menggunakan plastik Polypropylene (PP), reaktor yang digunakan adalah reaktor tunggal dengan temperatur reaktor diatur pada suhu 300 dan 350°C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kalor minyak pirolisis yaitu 0,194068464 J – 0,209067264 J, massa jenis yaitu 0,7941 – 0,8083 kg/l dan viskositas yaitu 0,9500151572 cPs - 0,9651967743 cPs.

ABSTRACT

This research was conducted to determine the characteristics of plastic waste pyrolysis oil and compare it with the characteristics of gasoline. The things studied included the physical and chemical properties of pyrolysis oil. The physical properties studied included viscosity and density, while the chemical properties were the heating value. The research was conducted using Polypropylene (PP) plastic, the reactor used was a single reactor with the reactor temperature set at 300 and 350°C. The results showed that the calorific value of pyrolysis oil was 0.194068464 J – 0.209067264 J, the density was 0.7941 – 0.8083 kg/l and the viscosity was 0.9500151572 cPs - 0.9651967743 cPs.

Keywords: *Pyrolysis, Fuel, Density, Viscosity, Calorific Value*

PENDAHULUAN

Plastik merupakan polimer; rantai panjang atom yang mengikat satu sama lain. Rantai ini membentuk banyak unit molekul berulang, atau monomer[1]. Plastik didesain dengan variasi yang sangat banyak dalam properti yang dapat menoleransi panas, keras, ketahanan, dan lain-lain. Digabungkan dengan kemampuan adaptasinya, komposisi yang umum dan beratnya yang ringan, dipastikan plastik digunakan hampir di seluruh bidang industri. Namun dibalik semua kelebihanannya, bahan plastik memiliki masalah setelah barang tersebut tidak digunakan lagi. Plastik tidak dapat membusuk, tidak dapat menyerap air, maupun tidak dapat berkarat dan pada akhirnya tidak dapat diuraikan oleh mikroorganisme dalam tanah sehingga menimbulkan masalah bagi lingkungan[2]. Untuk mengatasi hal ini tentu saja diperlukan cara untuk mengolah limbah, salah satu

caranya dengan mendaur ulang limbah plastik tersebut menjadi bahan bakar, yakni bahan bakar berupa minyak. Pirolisis merupakan dekomposisi termokimia bahan organik dengan proses pemanasan tanpa atau sedikit oksigen atau preaksi kimia lainnya, dimana material mentah akan mengalami pemecahan struktur kimia. Plastik yang mengalami proses pirolisis akan terdekomposisi menjadi Material-material pada fase cair dalam bentuk minyak bakar, fase gas berupa campuran gas yang dapat terkondensasi maupun tidak dapat terkondensasi dan Fase padat berupa residu maupun tar[3]. Proses pirolisis dilakukan pada temperatur 250-500 °C dan menghasilkan arang/abu, minyak dan gas. Selain dapat mengurangi limbah plastik maka kita juga bisa ikut menghemat persediaan minyak bumi di alam[4].

Sampah

Sampah merupakan material sisa yang sudah tidak dipakai, tidak disenangi atau sesuatu yang harus dibuang, yang umumnya

berasal dari kegiatan yang dilakukan oleh manusia tetapi bukan kegiatan biologis. Dalam berkegiatan, manusia memproduksi sampah. Karena semakin banyaknya sampah yang dihasilkan manusia perlu melakukan pengelolaan sampah, dengan tujuan mengubah sampah menjadi material yang memiliki nilai ekonomis atau mengolah sampah agar menjadi material yang tidak membahayakan bagi lingkungan hidup[5].

Plastik

Plastik merupakan senyawa polimer yang unsur penyusun utamanya adalah karbon dan hidrogen. Plastik merupakan material yang berbahan dasar polimer, contohnya adalah Polipropylene, Polyvinyl Chloride, High Density Polyethylene, Low Density polyethylene, Polyester thermoplastic, dan Polystyrene[2].

Plastik Polypropylene (PP)

Plastik jenis ini diberi kode label angka 5 dalam segitiga, Kemasan ini terbuat dari *Polypropylene* yang merupakan pilihan terbaik untuk bahan plastik terutama untuk yang berhubungan dengan makanan dan minuman. Plastik jenis ini berkarakter lebih kuat, ringan, dengan daya tembus uap yang rendah.

Pirolisis

Pirolisis adalah proses devolatilisasi dimana proses dekomposisi secara termal tanpa oksigen sama sekali. Proses dekomposisi pada pirolisis ini juga sering disebut dengan devolatilisasi.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan penelitian

Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu Reaktor pirolisis, Thermometer digital, Timbangan, Stopwatch, Bomb Kalorimeter, Viskometer Oswald, Gelas ukur, Botol penampung minyak hasil pirolisis.

Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu Plastik jenis PP (gelas kemasan air mineral) LPG (Liquid Petroleum Gas) sebagai bahan bakar dan Aquadest untuk massa jenis.

Tahapan Penelitian

Persiapan Alat

Reaktor pirolisis ; di dalam reaktor ini lah terjadi proses pirolisis. Tabung gas LPG 12kg. Regulator sebagai selang penyalur gas untuk memanaskan tabung reaktor. Pipa saluran minyak pirolisis yang berfungsi untuk mengalirkan gas hasil pirolisis dari tabung reaktor menuju pendingin agar terkondensasi dan menjadi sambungan antara unit pendingin dan penampung minyak hasil pirolisis. Pendingin yang dimana unit ini terbuat dari seng plat dengan pipa air masuk-keluar untuk sirkulasi yang berfungsi untuk mendinginkan gas dari reaktor yang terkonversi menjadi minyak. Penampung minyak pirolisis yang digunakan berupa botol kaca bekas. Pompa air yang digunakan untuk menjaga sirkulasi air yang digunakan sebagai pendingin. Bak air sebagai penampung air.

Persiapan Bahan

Bahan yang akan digunakan yaitu plastik berjenis *Polypropylene* yang di cacah kecil terlebih dahulu, kemudian dibersihkan dan dikeringkan, ditimbang 1 kg dan 1.5 kg menggunakan timbangan digital, setelah ditimbang kemudian di masukan kedalam tabung reaktor untuk kemudian memulai proses pirolisis.

Tahap Proses Pirolisis

Ada beberapa langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini, yaitu:

1. Setelah alat dan bahan yang disiapkan sebelumnya sudah siap, plastik yang sudah di cacah dan bersih tersebut kemudian dimasukkan ke dalam reaktor dan di panaskan dengan suhu 300°C, dan 350°C

- dalam waktu yang sudah di tentukan untuk masing-masing variasi suhu.
2. Minyak hasil pemanasan tersebut keluar dan ditampung dalam botol yang sudah disiapkan sebelumnya.
 3. Setelah minyak tersebut sudah di dapatkan, kemudian akan diuji nilai kalor menggunakan Kalorimeter Bomb, sedangkan viskositasnya menggunakan viskometer oswald.

Hasil yang di dapat di analisa untuk menyimpulkan seluruh penelitian ini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Minyak Pirolisis

Hasil dari proses pirolisis adalah minyak, *char* dan gas. Minyak yang dihasilkan pada proses pirolisis disebut minyak pirolisis. Seperti terlihat pada gambar 1



Gambar 1. Minyak Hasil Proses Pirolisis Berbahan Plastik PP

Minyak dari proses ini mempunyai warna dan tekstur mirip bensin, mudah terbakar namun lebih menyengat saat terhirup. Selain minyak, adapun hasil dari proses pirolisis ini yakni *char* atau arang dan tar seperti gambar 2 di bawah ini :

Berikut ini adalah tabel hasil pirolisis sampah plastik berjenis PP (Polypropylene) dengan bobot plastik 1 kg



Gambar 2. Char

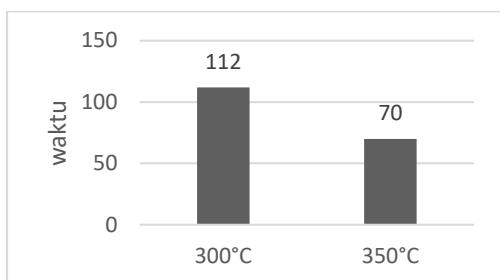
Tabel 1. Hasil Minyak Pirolisis variasi 300°C dan 350°C dengan Kuantitas plastik 1 kg

No	Suhu (°C)	Waktu (menit)	Hasil Minyak (ml)	Residu
1	300	112	1050	25 gr(Tar)
2	350	70	1250	11 gr (char)

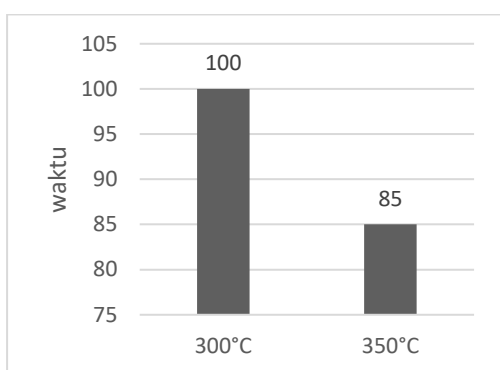
Tabel 2. Hasil Minyak Pirolisis variasi 300°C dan 350°C dengan Kuantitas plastik 1,5 kg

No	Suhu (°C)	Waktu (menit)	Hasil Minyak (ml)	Residu
1	300	100	1510	46 gr (tar) 130 ml
2	350	85	1740	(minyak hitam)

Pada tabel 1 dan 2 terlihat bahwa pada suhu 300°C dibutuhkan waktu sekitar 100 – 112 menit untuk menghabiskan bahan plastik dalam proses pirolisis dan menghasilkan minyak hingga 1510 ml begitupun pada suhu 350°C dan membuktikan juga semakin naik maka hasil minyak yang diperoleh pun semakin meningkat dan waktu yang di tempuh menjadi lebih singkat. Dari data tabel diatas maka di dapatkan grafik. Pengaruh variasi suhu terhadap hasil pirolisis dapat dilihat pada gambar 3 dan 4.



Gambar 3. Diagram Pengaruh Variasi Suhu Terhadap Waktu Pirolisis dengan kuantitas plastik 1 kg



Gambar 4. Diagram Pengaruh Variasi Suhu Terhadap Waktu Pirolisis dengan kuantitas plastik 1,5 kg

Berdasarkan hasil pengamatan saat pengujian membuktikan bahwa semakin lama waktu dan semakin panas suhu yang digunakan untuk pembakaran di dalam reaktor pirolisis maka semakin sedikit zat sisa yang dihasilkan karena selama proses pembakaran yang lama tersebut, plastik yang terdekomposisi semakin banyak menjadi minyak pirolisis dan *char* yang dihasilkan semakin sedikit, penyebabnya adalah plastik semakin banyak terbakar dan berubah menjadi gas lalu menjadi minyak ketikakeluar melalui pipa pada sistem pendingin yang kemudian di tampung ke dalam botol penampung.

Pengujian Massa Jenis

Massa jenis atau densitas atau rapatan adalah pengukuran massa setiap satuan volume benda. Semakin tinggi massa jenis suatu benda, maka semakin besar pula massa setiap volumenya. Massa jenis sampel yaitu

massa setiap satuan volume sampel dipengaruhi oleh massa sampel dan volume sampel. Hasil perhitungan massa jenis sampel dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Pengujian Massa Jenis Minyak

Minyak Pirolisis (suhu/kuantitas)	Massa (kg)	Volume (m ³)	Massa Jenis (kg/m ³)
300°C / 1kg	7,941	10	0,7941
300°C / 1,5 kg	8,083	10	0,8083
350°C / 1 kg	7,826	10	0,7826
350°C / 1,5 kg	7.961	10	0,7961

Data yang digunakan sebagai contoh yakni data sampel pembakaran suhu 300°C dengan kuantitas plastik 1 kg. Dengan rumus massa jenis :

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (1)$$

maka di dapat massa jenis :

$$\rho = \frac{7,941}{10}$$

$$\rho = 0,7941 \text{ kg/m}^3$$

Dengan :

m = massa jenis cairan (kg)
 v = volume cairan (m³)
 ρ = Massa Jenis (kg/m³)

Nilai dari massa jenis minyak pirolisis ini berkisar antara 0,7826 – 0,8083 kg/m³ dengan massa jenis terendah pada sampel ketiga yaitu pada pembakaran pada suhu 350°C dengan kuantitas plastik 1 kg dan yang tertinggi pada sampel kedua yaitu pembakaran pada suhu 300°C dengan kuantitas plastik 1,5 kg. Sampel kedua memiliki massa jenis tertinggi karena pada pembakaran dengan kuantitas plastik 1,5 kg menempuh waktu lebih lama dari proses pembakaran dengan kuantitas plastik 1 kg, dimana waktu proses pirolisis mempengaruhi nilai massa jenis dan dapat diketahui perbedaan berat antara pembakaran kuantitas plastik 1 kg dan 1,5 kg yaitu 0,7941 gram pada variasi suhu pembakaran 300°C kuantitas

plastik 1kg, 0,7961 gram pada variasi suhu pembakaran 350°C kuantitas plastik 1kg, 0,8083 gram pada variasi suhu 300°C kuantitas plastik 1,5kg, dan 0,7961 gram pada variasi suhu pembakaran 350°C kuantitas plastik 1,5 kg, sehingga hal ini sesuai dengan penelitian-penelitian terdahulu yang membuktikan bahwa semakin lama proses pirolisis maka semakin banyak molekul berat yang terdekomposisi.

Hasil minyak pirolisis dapat di bandingkan dengan beberapa jenis zat cair lainnya dan dapat ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Massa Jenis beberapa zat cair

No	Jenis zat cair	Massa jenis (Kg/m ³)
1	Bensin	0,72
2	Alkohol	0,79
3	Air laut	1,025
4	Raksa	13,6
5	Minyak tanah	0,8
6	Air (4°C)	1

Data pada tabel tersebut menunjukkan bahwa massa jenis minyak pirolisis berada diantara Bensin Pertalite (0,72), Alkohol (0,79), Minyak tanah (0,8) dan masih berada di bawah Air 4°C [6].

Pengujian Viskositas

Pengujian Viskositas ini menggunakan Viscometer Ostwald. Viskositas diukur dengan beberapa cara. Dalam “viskometer Ostwald”, waktu yang diperlukan oleh larutan untuk melewati pipa dicatat, dan dibandingkan dengan sampel standar. Prinsip perhitungan menggunakan viscometer Ostwald adalah membandingkan waktu alir zat standar yang di ketahui kekentalannya dan massa jenisnya yaitu aquades dengan minyak pirolisis menggunakan persamaan untuk mengetahui kekentalannya. Data pengujian viskositas ini dapat dilihat pada tabel 5 berikut:

Tabel 5. Hasil pengujian viskositas minyak pirolisis

Sampel yang di uji	Waktu Alir (T) (s)	Massa Jenis (kg/m ³)
Aquades	6,03	0,9793
Minyak Pirolisis 300°C / 1kg	8,08	0,9651
Minyak Pirolisis 300°C / 1,5kg	7,91	0,9617
Minyak Pirolisis 350°C / 1kg	8,07	0,95
Minyak Pirolisis 350°C / 1,5kg	8,01	0,9592

Data yang digunakan sebagai contoh yakni data sampel pembakaran suhu 300°C dengan kuantitas plastik 1 kg. Dengan rumus viskositas [11] :

$$\nu = \nu_{\text{aquades}} \frac{t_{\text{sampel}} \cdot \rho_{\text{sampel}}}{t_{\text{aquades}} \cdot \rho_{\text{aquades}}} \quad (2)$$

maka di dapat viskositas :

t aquades : 6,03 s

t sampel : 8,08 s

η aquades : 0,8927 cPs

ρ aquades : 0,9793 gram/ml

ρ sampel : 0,7941 gram/ml

$$\nu = 0,8927 \frac{8,08 \cdot 0,7941}{6,03 \cdot 0,9793}$$

$$\nu = 0,8927 \frac{6,416328}{5,934558}$$

$$\nu = 0,9651967743 \text{ cPs}$$

dengan :

ν = Viskositas cairan (cP)

t = waktu alir (s)

ρ = massa jenis (kg/m³)

Viskositas dari minyak pirolisis memiliki nilai berkisar antara 0,95 – 0,9651 cPs. Jika dibandingkan dengan zat pembanding yakni aquadest, viskositas minyak pirolisis ini sedikit lebih kental dari pada aquadest. Hal ini dapat diamati dari pergerakan fluidanya, minyak pirolisis memiliki pergerakan fluida yang lebih lambat dari pada aquadest sehingga hal ini membuktikan bahwa minyak pirolisis sedikit lebih kental di banding aquadest.

Nilai Kalor Minyak Pirolisis

Untuk pengujian nilai kalor menggunakan Bomb Kalorimeter. Data pengujian nilai kalor ini dapat dilihat pada 6 di bawah ini :

Tabel 6. Hasil Pengujian Nilai Kalor Minyak Pirolisis

Sampel yang diuji	Nilai Kalor, J
Minyak Pirolisis 300°C / 1kg	0,1962
Minyak Pirolisis 300°C / 1,5kg	0,1940
Minyak Pirolisis 350°C / 1kg	0,2057
Minyak Pirolisis 350°C / 1,5kg	0,2090

Data yang digunakan sebagai contoh yakni data sampel pembakaran suhu 300°C dengan kuantitas plastik 1 kg. Dengan rumus nilai kalor (Aninsi, N, 2021) :

$$Q = m \times c (T_1 - T_2) \quad (3)$$

$$Q = m \cdot c (T_1 - T_2)$$

$$m = 1,007 \text{ g}$$

$$c = 46,4 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$$

$$T_1 = 4,26 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 0,06 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q = 1,007 \times 46,4 (4,26 - 0,06)$$

$$Q = 0,001007 \times 46,4 (4,26 - 0,06)$$

$$Q = 0,0467248 \times 4,2$$

$$Q = 0,19624416 \text{ J}$$

dengan :

Q = kalor yang di butuhkan (J)

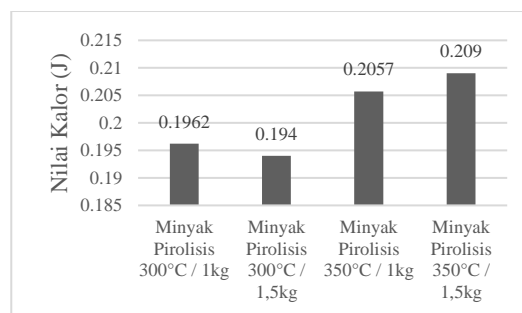
m = massa benda (g)

c = kalor jenis (MJ/kg°C)

T₁ , T₂ = Perubahan Suhu

Berdasarkan tabel 6 dapat dilihat bahwa nilai kalor dari masing-masing sampel memiliki perbedaan pada perilaku waktu dan variasi suhu yang berbeda dan nilai kalor yang di dapat pada sampel minyak pirolisis ini memiliki nilai yang berbeda antara sampel lain dan juga terdapat nilai kalor terendah tapi bukan pada percobaan awal karena perubahan suhu pada minyak pirolisis ini mengalami perubahan berdasarkan kuantitas di dalam tabung reaktor dan kestabilan suhu juga mempengaruhi proses pirolisis.

Data nilai kalor sesuai pengujian minyak pirolisis apabila digambarkan dalam bentuk grafik dapat dilihat pada gambar di bawah ini



Gambar 5. Diagram Pengaruh Variasi Suhu

Dari Gambar 6 dapat dilihat bahwa nilai kalor tertinggi terjadi pada variasi suhu 350°C dengan kuantitas plastik 1,5kg yaitu 2.090 J/kg dan terendah pada variasi suhu 300°C dengan kuantitas plastik 1,5kg yaitu 0,1940 J.

Pada Gambar 6 bisa dilihat bahwa ada penurunan pada variasi suhu 300°C dengan kuantitas plastik 1 kg dengan nilai kalor 1,5 kg memiliki nilai kalor yang lebih rendah, hal ini disebabkan oleh ketidakstabilan suhu ketika proses pembakaran pada suhu 300°C. Suhu pada reaktor variasi 300°C dengan kuantitas

plastik 1 kg memiliki rata-rata suhu pada 306,71°C sedangkan pada variasi 300°C dengan kuantitas plastik 1,5 kg memiliki rata-rata suhu 301°C saja, hal ini membuktikan bahwa selain waktu pada proses pirolisis, suhu juga mempengaruhi nilai kalor pada minyak yang dihasilkan. Grafik di atas membuktikan pada nilai kalor variasi 300°C dengan kuantitas plastik 1,5 kg yang suhunya lebih kecil dari pada variasi suhu yang lain sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai kalor semakin meningkat seiring bertambahnya waktu dan juga jika kestabilan suhu terjaga.

KESIMPULAN

Kesimpulan

Nilai dari massa jenis minyak pirolisis ini antara 0,7826 – 0,8083 kg/m³ dengan massa jenis terendah pada pembakaran suhu 350°C dengan kuantitas plastik 1 kg dan yang tertinggi pada pembakaran suhu 300°C dengan kuantitas plastik 1,5 kg. Variasi suhu 300°C dengan kuantitas plastik 1,5 kg memiliki massa jenis tertinggi karena pada proses pembakaran ini menempuh waktu lebih lama dari proses pembakaran dengan kuantitas plastik 1 kg. Sedangkan untuk viskositas memiliki nilai viskositas yang hampir sebanding dengan zat perbandingan aquades 0,8927 cPs sedangkan minyak pirolisis yaitu di kisaran 0,7826 – 0,8083 cPs namun memiliki massa jenis lebih tinggi dilihat dari pergerakan fluidanya yang lebih.

Nilai kalor minyak hasil pirolisis menggunakan reaktor tunggal memiliki nilai kalor antara 0,19406846 – 0,209067264 J. Nilai kalor tertinggi pada pengujian variasi 350°C, sehingga dapat disimpulkan terjadinya perbedaan bertingkat yang terjadi dalam penelitian ini adalah karena perbedaan suhu dari masing-masing proses dan juga semakin tinggi suhu pirolisis dan semakin lama waktu proses pirolisis, maka semakin banyak unsur dalam plastik yang terdekomposisi dengan catatan harus menjaga kestabilan suhu selama proses pembakaran.

Saran

1. Perlu diadakan penelitian dengan jenis bahan yang berbeda dengan memvariasikan suhu, kuantitas plastik, dan menjaga kestabilan suhu.

Perlu adanya pemurnian atau destilasi minyak hasil pirolisis ini karena jika dilihat dari hasil penelitian yang dilakukan, bahan bakar pirolisis ini memiliki nilai yang tidak jauh berbeda dari bahan bakar yang sudah dipasarkan karena destilasi digunakan untuk mendapatkan kualitas cairan tertentu yang tidak terbentuk dalam proses alami cairan tersebut. Sehingga cairan tersebut harus didekomposisi dan dikondensasi untuk menghasilkan cairan yang sesuai dengan kebutuhan manusia.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. M. Adi, A. Susanto, and F. Astuti, "Analisis Unjuk Kerja Hasil Minyak Alat Pirolisis dari Bahan Plastik Berkapasitas 2 Kg," *Piston J. Tech. Eng.*, vol. 3, no. 2, Art. no. 2, Jan. 2020, doi: 10.32493/pjte.v3i2.7347.
- [2]. Zurohaina et al., "Analisa Bahan Bakar Minyak Hasil Pirolisis Sampah Plastik Jenis Pp Dan Pet Terhadap Kinerja Generator Set Pada Pltsa Plastik Kapasitas 1000 Watt," *Kinetika*, vol. 10, no. 1, Art. no. 1, 2019.
- [3]. W. Ardiyansyah, "Rancang Bangun Alat Pengolahan Limbah Plastik (Pirolisis) Menjadi Bahan Bakar Alternatif Menggunakan Metode Dfma (Design For Manufacture And Assembly)," *Enotek J. Energi Dan Inov. Teknol.*, vol. 1, no. 01, Art. no. 01, Oct. 2021, doi: 10.30606/enotek.v1i01.1001.
- [4]. J. Wahyudi, H. T. Prayitno, A. D. Astuti, "Pemanfaatan limbah plastik sebagai bahan baku pembuatan bahan bakar alternatif," *J. Litbang Media Inf. Penelit. Pengemb. Dan IPTEK*, vol. 14, no. 1, pp. 58–67, 2018.
- [5]. D. Arifatin, "Tata Cara Teknik Operasional Pengelolaan Sampah Perkotaan", Accessed: Jul. 13, 2023.

- [6]. D. G. H. Adoe, W. Bunganaen, I. F. Krisnawi, and F. A. Soekwanto, "Pirolisis Sampah Plastik PP (Polypropylene) menjadi Minyak Pirolisis sebagai Bahan Bakar Primer," LONTAR J. Tek. Mesin Undana, vol. 3, no. 1, pp. 17–26, 2016.
- [7]. I. Lufina, B. Susilo, and R. Yulianingsih, "Studi Pemanfaatan Minyak Karet (Hevea brasiliensis) sebagai Bahan Bakar pada Kompor Rumah Tangga Study of Rubber Oil Utilization as Residential Stove Fuel," vol. 1, no. 1, pp. 60–68, 2013.
- [8]. U. Karakteristik et al., "Uji Karakteristik Minyak Pirolisis Berbahan Baku Limbah Plastik," pp. 13–20.
- [9]. Ridhuan et al., "Proses Pembakaran Pirolisis dengan Jenis Biomassa dan Karakteristik Asap Cair yang Dihasilkan" 2019
- [10]. Rosmiati, V, BAB II. Tinjauan Pustaka, 2020
- [11]. Aninsi, N, Rumus, Pengertian dan Perpindahan Kalor (2021)
- [12]. Anggraini Lisa et al., Laporan Praktikum Farmasi Fisika "Penentuan Viskositas Zat Cair dengan Viskometer Ostwald", (2015)
- [13]. Jamilatun et al., "Pirolisis Tandan Kelapa Sawit untuk Menghasilkan Bahan Bakar Cair, Gas, Water Fase, dan Charcoal" Universitas Ahmad Dahlan, Daerah Istimewa Yogyakarta, 2022)
- [14]. Faiz F, Hidayat D, Siregar, Uji Karakteristik Minyak Pirolisis Berbahan Baku Limbah Plastik Polypropylene., t.t.