

PENGOLAHAN SAMPAH PLASTIK (*POLYPROPYLENE*) MENJADI BAHAN BAKAR MINYAK

Krisna Wibowo¹, Windi Wulamdari²
Universitas Muhammadiyah Surakarta^{1, 2}
Krisnawibowo1408@gmail.com¹

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh proses pirolisis dalam pengolahan sampah plastik bagi kesehatan lingkungan. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah deskriptif kuantitatif. Hasil penelitian ini dapat dilihat pada pengujian nilai kalor yang memperoleh nilai terbaik sebesar 10831.1 Kcal/Kg pada waktu 90 menit dan memiliki karakteristik minyak berwarna kuning jernih, sedangkan untuk jumlah volume tertinggi adalah sampel waktu 60 menit dengan hasil sebesar 200 ml. Simpulan, proses pirolisis yang digunakan untuk pengelolaan sampah plastik *polypropylene* dapat menjadikan pembaruan dalam pemanfaatan dan pengelolaan sampah plastik.

Kata Kunci: Nilai Kalor, *Polypropylene*, Pirolisis.

ABSTRACT

This research aims to determine whether there is an influence of the pyrolysis process in processing plastic waste on environmental health. The method used in this research is quantitative descriptive. The results of this research can be seen in the calorific value test which obtained the best value of 10831.1 Kcal/Kg at 90 minutes and had the characteristics of a clear yellow oil, while the highest volume was the 60 minute sample with a result of 200 ml. In conclusion, the pyrolysis process used to manage polypropylene plastic waste can bring about reforms in the use and management of plastic waste.

Keywords: Calorific Value, Polypropylene, Pyrolysis.

PENDAHULUAN

Sampah menjadi masalah yang sangat serius dalam lingkungan hidup di seluruh dunia dan berhubungan erat dengan kehidupan masyarakat sehari-hari (Pengo et al., 2020). Faktor penentu dari status kesehatan masyarakat adalah lingkungannya sendiri, dampak yang ditimbulkan dari berbagai permasalahan lingkungan yang tidak baik meningkatkan angka paparan terhadap manusia (Bind, 2019). Sehingga, jika terjadi perubahan terhadap lingkungan, akan berdampak juga pada perubahan kesehatan lingkungan masyarakat itu sendiri. Faktor perilaku sangat berhubungan dengan kesehatan lingkungan dimana adanya kesadaran dari masyarakat untuk biasa hidup bersih dan sehat, akan berdampak baik pula terhadap kesehatan lingkungan (Khoiriyah, 2021).

Dari semua aktivitas manusia menghasilkan suatu produk sisa berupa sampah, baik itu sampah organik maupun anorganik. Salah satu faktor penyebab terjadinya kerusakan terhadap lingkungan di Indonesia sendiri adalah banyaknya penggunaan plastik yang

berlebihan. Seiring dengan meningkatnya permintaan plastik di pasaran serta produksi plastik yang digunakan sebagai tempat penyimpanan bahan makanan bahkan minuman sekali pakai, menjadikan adanya peningkatan yang besar terhadap kerusakan alam (Jahirul et al., 2022). Pada tahun 2020 Indonesia menjadi peringkat kelima sebagai negara penghasil sampah plastik di dunia. Dengan jumlah produksi sampah sebesar 17.92% dari jumlah sampah yang dihasilkan. Plastik memiliki sifat yang relatif lebih sulit terurai dengan lamanya waktu mencapai 50-80 tahun (Azizah, 2023). Hal ini tentu saja akan berdampak buruk pada lingkungan, salah satu permasalahan yang sangat signifikan adalah menurunnya tingkat kesuburan tanah dan menghasilkan emisi berupa *polychlorinated dibenzo - p - dioxins* jika sampah dibakar. Menurut Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) pada tahun 2023, jumlah produksi sampah plastik yang masuk pada ekosistem akuatik meningkat hamper 9–14 ton per tahun dan apabila tidak adanya tindakan yang berarti untuk menangani kasus penumpukan sampah plastik, maka menurut *United Nations Environment Programme* (UNEP) bahwa jumlah sampah plastik akan mengalami kenaikan pada tahun 2040 dengan rata-rata mencapai 23–37 juta ton per tahun (ppid.menlhk.go.id, 2023).

Jenis sampah yang sering dijumpai atau digunakan masyarakat Indonesia adalah *polypropylene*. Sampah *polypropylene* ini sangat mudah dijumpai, karena jenis sampah ini sering digunakan sebagai gelas air mineral dan sifatnya yang ringan, berwarna jernih, dan tidak mudah pecah (Erawati, 2023). Banyaknya produksi plastik *polypropylene* untuk berbagai kemasan air mineral menyebabkan jenis plastik ini akan berdampak banyak sekali permasalahan terhadap kesehatan lingkungan. Kurangnya kepedulian masyarakat serta manajemen terhadap pengolahan sampah plastik yang belum efektif menjadikan jenis sampah plastik *polypropylene* akan banyak menimbulkan permasalahan kesehatan baik itu kesehatan lingkungan, masyarakat, dan sosial. Sampah plastik *polypropylene* sangat mudah terbakar, hal ini akan mengakibatkan terjadinya ancaman kesehatan yang akan timbul pada masyarakat. Asap dari hasil pembakaran plastik banyak mengandung racun seperti *Hydrogen Sianida* (HCN) dan *Carbon Monoksida* (CO) (Ismainar et al., 2021). Terlebih lagi sampah plastik memiliki kandungan *Clorida* (Cl), pada pembakaran dengan suhu rendah akan menghasilkan *dioksin* (penyebab kanker) (Nofiyanti et al., 2020). Banyak cara untuk dapat mendaur ulang sampah plastik, salah satunya adalah mengubah sampah plastik menjadi sebuah kerajinan tangan yang memiliki nilai ekonomis tinggi. Akan tetapi adanya kemajuan teknologi saat ini, sampah plastik yang tidak memiliki nilai ekonomis yang tinggi dapat dirubah menjadi bahan bakar minyak, dengan cara mengkonversinya (Wajdi et al., 2020).

Hydrogen sianida merupakan sebuah polimer yang berbahan dasar dari *akrilonitril*, sedangkan hasil dari pembakaran plastik yang kurang sempurna menghasilkan *karbon monoksida* (Arwini, 2022). Pembakaran sampah plastik *polypropylene* yang tidak sempurna menyebabkan pencemaran terhadap udara dan akan mengakibatkan efek jangka panjang berupa kerusakan terhadap atmosfer bumi (Fathulloh et al., 2021). Pencemaran lain dari adanya penumpukan sampah *polypropylene* juga akan berdampak besar terhadap tanah dan mikroorganisme di dalamnya. Sampah plastik sangat sulit terurai oleh mikroorganisme tanah, sehingga hal ini dapat menyebabkan berkurangnya mineral – mineral di dalam tanah baik itu organik maupun anorganik (Rahmayani, 2021). Mikroorganisme di dalam tanah sangat berperan penting, dalam berkontribusi terhadap hasil dan kualitas pada tanaman, sehingga apabila mikroorganisme di dalam tanah tidak bisa hidup dikarenakan berkurangnya O₂ pada tanah, menyebabkan mikroorganisme tanah seperti cacing tidak dapat hidup di dalamnya (Ma, et al., 2024). Tumbuhan sangat

membutuhkan mikroorganisme sebagai perantara dan kelangsungan hidupnya, apabila kesuburan tanah berkurang hal ini akan berdampak pada banyaknya tumbuhan yang mati dan secara tidak langsung hal ini juga menjadi ancaman bagi kelangsungan hidup manusia, apabila tidak adanya tumbuhan makan jumlah pasokan O₂ di udara juga akan mengalami penurunan (Sariyah et al., 2023).

Banyaknya permasalahan yang akan timbul dari penanganan sampah yang kurang efektif menjadikan peneliti ingin melanjutkan penelitian terdahulu yang hanya terfokus pada bagaimana merubah sampah plastik *polypropylene* menjadi bahan bakar minyak yang memiliki nilai kalor yang dapat bersaing dengan bensin. Sehingga pada penelitian ini peneliti ingin menunjukkan dengan adanya proses pirolisis sampah plastik dapat mengurangi permasalahan baik bagi lingkungan, sosial, dan masyarakat. Kelebihan dari penggunaan metode pirolisis dalam mengelola sampah plastik *polypropylene* menjadi bahan bakar minyak yaitu dapat bekerja pada tekanan atmosfer dengan suhu sekitar mencapai 500°C. Proses pirolisis sendiri adalah dekomposisi bahan kimia organik dengan melalui sebuah proses pemanasan tanpa adanya oksigen atau regain lain (Ridhuan et al., 2019). Pengaruh waktu dalam proses pirolisis juga membedakan volume hasil yang diperoleh serta terdapat perbedaan karakteristik minyak yang dihasilkan (Novia, 2021). Dampak yang akan timbul dari adanya proses pengelolaan sampah plastik dengan menggunakan metode pirolisis akan berkurangnya jumlah penumpukan sampah *Polypropylene*, dilain itu bahan bakar yang dihasilkan dari proses pirolisis terbukti dapat digunakan untuk menjalankan kendaraan (Saputra et al., 2021). Penanganan yang baik dalam mengelola sampah *polypropylene* dapat menghasilkan pembaruan yang besar bagi lingkungan memanfaatkan sampah plastik *polypropylene* menjadi suatu produk yang bermanfaat bagi keberlangsungan hidup bermasyarakat yang bersih, sehat, dan produktif.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode analitik deskriptif kuantitatif. Dimana pada penelitian ini peneliti menganalisis hasil dari pengujian yang telah dilakukan. Variable yang diteliti pada penelitian ini adalah sampah plastik dengan jenis *polypropylene*, volume hasil pengolahan sampah plastik dengan metode pirolisis, serta melakukan uji minyak untuk melihat jumlah nilai kalor pada minyak hasil pirolisis.

Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu berupa sampah plastik dengan jenis *polypropylene* sebanyak 400 gram. Alat yang digunakan untuk mengkonversi sampah plastik *polypropylene* menjadi bahan bakar berupa minyak yaitu dengan menggunakan mesin *insinerator*. Mesin *insinerator* sendiri terdiri dari beberapa bagian, diantaranya yaitu; *temperature controller*, *reactor*, *injector* udara, *furnace*, pipa uap, *kondensor*, saluran masuk air pendingin, saluran keluar air pendingin, penampung minyak, saluran keluar uap, serta yang terakhir yaitu *valve*. Metode *pirolis* yaitu metode yang digunakan untuk mengolah sampah plastik *polypropylene* menjadi bahan bakar minyak dengan menggunakan mesin *insinerator* pada temperature 500°C dan daya listrik yang digunakan sebesar 25,6-watt selama 2 jam untuk menghasilkan minyak. Pengujian sampah plastik menjadi bahan bakar minyak dilakukan oleh peneliti pada tanggal 23 juli 2023. Pada pengolahan awal dalam mengkonversi sampah plastik dengan jenis *polypropylene* menjadi bahan bakar minyak ini diawali dengan mencuci sampah plastik *polypropylene* dan memotongnya menjadi bagian-bagian yang lebih kecil. Kemudian sebelum dimasukan kedalam *furnace* dilakukan penimbangan terlebih dahulu sebanyak 400-gram sampah plastik dan dilakukan proses pirolisis dengan menggunakan temperature suhu mencapai 500°C. Pada pengujian ini uji pirolisis dilakukan dalam satu waktu dengan

melakukan pengambilan data berdasarkan waktu yang sudah ditentukan yaitu 30,60, dan 90 menit.

Sampah padat yang telah dipanaskan dengan menggunakan suhu 500°C akan mengalami perubahan bentuk menjadi uap yang nantinya uap ini akan masuk ke dalam kondensor dengan melalui pipa dan akan terkumpul diatas kondensor bagian dalam. Proses kondensasi ini akan merubah uap yang panas menjadi dingin dengan cara mengalir kondensor luar dengan air yang telah di masukan melalui pipa bagian bawah yang bertujuan untuk mendinginkan kondensor dalam yang menampung uap hasil dari pembakaran plastik *polypropylene* di dalam *furnace*. Uap yang panas akan terkondensasi dan akan melewati proses pendinginan di dalam tabung kondensor dan merubah uap tersebut menjadi cair. Uap yang cair tersebut akan melewati pipa pengumpulan minyak di bagian bawah kondensor. Setiap 30 menit, jumlah minyak yang keluar akan dikumpulkan dan dihitung volumenya. Hasil minyak yang telah terkumpul dari 30, 60, dan 90 menit ini akan melewati pengujian lebih lanjut berupa pengujian nilai kalor dengan menggunakan metode *bomb calorimetry* untuk melihat hasil minyak yang diperoleh setara dengan bensin atau tidak.

HASIL PENELITIAN

Berikut ini adalah data hasil penelitian berupa bahan bakar minyak yang diperoleh dari pengolahan sampah plastik *polypropylene* dengan menggunakan metode pirolisis. Beberapa parameter yang harus diamati dalam pengujian hasil minyak yang diperoleh dengan suhu yang tetap berkisar 500°C antara lain; volume minyak dari hasil ketiga waktu yang ditentukan, pengujian nilai kalor, serta karakteristik minyak yang dihasilkan

Tabel 1. Volume Minyak

No	Waktu	Berat Sampah	Volume Hasil
1.	30 menit		150 ml
2.	60 menit	400 gr	200 ml
3.	90 menit		69 ml
	Total	400 gr	419 ml

Pada Tabel.1 menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan pada volume minyak yang dihasilkan dari proses pirolisis sampah plastik menjadi bahan bakar minyak. volume minyak 30 menit memiliki volume minyak sebesar 150 ml, 60 menit volume mengalami kenaikan dengan total volume sebesar 200 ml, sedangkan pada menit ke 90 volume minyak berkurang drastis mencapai 69 ml volume yang didapat. Adanya perbedaan dari jumlah volume yang dihasilkan dapat dikarenakan juga adanya pengaruh pada proses pemanasan tabung *furnace* dari temperatur rendah ke temperature maksimum, sehingga volume yang didapatkan berbeda.

Tabel 2. Pengujian Nilai Kalor

No	Waktu	Hasil Analisis Nilai Kalor, Kcal/Kg	Metode Analisis
1.	Bensin Murni	8.356 – 10.500	
2.	Proses 30 menit	10593.2	Bomb Calorimetry
3.	Proses 60 menit	10617.8	
4.	Proses 90 menit	10831.1	

Pada tabel.2 nilai kalor dari hasil pirolisis mendekati nilai kalor bensin murni, pada menit 30 nilai kalor sebesar 10593.2 Kcal/Kg, pada menit ke 60 mengalami kenaikan menjadi 10617.8 Kcal/Kg, kenaikan nilai kalor terus meningkat hingga pada menit ke 90 nilai kalor yang diperoleh sebesar 10831.1 Kcal/Kg. Nilai kalor pada ketiga waktu memiliki kenaikan jumlah nilai kalornya, semakin tinggi nilai kalor yang dihasilkan maka hasil minyak yang diperoleh juga semakin baik kualitasnya.

Tabel 3. Karakteristik Warna Pada Minyak

No.	Waktu	Warna & Karakteristik
1.	30 menit	Kuning tua dan cenderung gelap
2.	60 menit	Kuning keruh dan terdapat endapan
3.	90 menit	Kuning jernih dan tidak terdapat endapan

Karakteristik minyak pada tabel.3 memiliki perbedaan di setiap waktu yang diperoleh. Pada menit ke 30 minyak memiliki warna kuning tua atau lebih cenderung gosong, pada menit 60 warna minyak berwarna kuning keruh, dan pada menit ke 90 warna minyak yang diperoleh adalah kuning jernih. Kualitas minyak tidak dapat diamati secara visual saja, adanya perbedaan warna dapat dikarenakan adanya perbedaan suhu yang ada pada masa awal proses pirolisis dilakukan, sehingga untuk melihat kualitas minyak secara langsung dapat diamati dari ketidak terdapatnya endapan (char) di dalam minyak.

PEMBAHASAN

Volume Minyak

Hasil pemanfaatan sampah plastik jenis *polypropylene* menjadi bahan bakar minyak melalui proses pirolisis dengan temperature 500°C dan waktu yang digunakan dalam proses ini adalah 30, 60, dan 90 menit menghasilkan perbedaan jumlah dalam setiap waktunya. Adanya perbedaan dari jumlah volume yang dihasilkan dapat dikarenakan juga adanya pengaruh pada proses pemanasan tabung *furnace* dari temperatur rendah ke temperature maksimum, sehingga volume yang didapatkan berbeda. Pada 30 menit pertama jumlah minyak hasil dari pirolisis menghasilkan 150 ml, jumlah minyak pada proses pertama ini tidak bisa optimal karena pada proses ini sampah plastik masih dalam bentuk padatan dan dalam tekanan suhu tinggi mengakibatkan banyaknya kandungan gas yang dihasilkan dibandingkan dengan uap minyak yang diinginkan sehingga pada proses ini minyak yang dihasilkan tidak banyak (Pratama et al., 2022). Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Cruz et al., 2023) menyatakan bahwa pengaruh suhu dapat menurunkan hasil minyak, sedangkan presentasi pada gas meningkat baik secara pemanasan rendah maupun tinggi.

Pada menit ke 60 minyak yang keluar memperoleh hasil sebanyak 200 ml akan tetapi minyak pada proses ini cenderung masih banyak kandungan air di dalamnya, sehingga volume yang didapatkan lebih tinggi dari pada sebelumnya. Adanya endapan pada sampel 60 menit ini juga dapat dikarenakan pada jenis plastik *polypropylene* termasuk ke dalam gugus alkena, yaitu berupa (polyolefin) atau plastik yang memiliki sifat sangat mudah terdegradasi. struktur percabangan yang tinggi pada karbon tersier dapat menjadi pemicu terhadap pembelahan termal ikatan C-C. Minyak dari hasil pirolisis selama 90 menit memiliki volume yang cenderung lebih kecil dari kedua waktu yang telah dilewati. Pada menit ke 90, minyak yang dihasilkan hanya mencapai 69 ml, hal ini dapat di karena padatan sampah plastik di dalam *furnace* mengalami rekombinasi (pembentukan ulang) dari produk perengkahan termal dengan melalui reaksi sekunder

(retrogressive reunion) pembentukan dalam bentuk endapan (char). Hal ini sejalan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Hidayat, F. F. D., & Siregar, (2022) dimana pada hasil uji pirolisis yang dilakukan dengan temperatur 350 menghasilkan 50 ml minyak, 400 menghasilkan minyak sebesar 65 ml, dan pada temperature suhu 450 menghasilkan minyak sebanyak 37 ml, seiring dengan pertambahan temperature suhu yang ditingkatkan akan menghasilkan minyak yang semakin menurun.

Nilai Kalor

Dari tabel 2. nilai kalor pada ketiga waktu memiliki kenaikan jumlah nilai kalornya, semakin tinggi nilai kalor yang dihasilkan maka hasil minyak yang diperoleh juga semakin baik kualitasnya. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Rafi et al., 2019) semakin tinggi suhu yang digunakan dalam mengonversi sampah plastik maka nilai kalor meningkat panas suhu pada Hasil dari ketiga sampel yang diperoleh dalam proses pirolisis. Nilai kalor terbesar ada pada sampel 90 menit dengan nilai kalor sebesar 10831.1 Kcal/Kg. Hasil minyak yang diperoleh dari proses pirolisis memiliki kandungan nilai kalor yang lebih tinggi dibandingkan dengan nilai kalor bensin murni. Hal ini dapat disebabkan karena ΔT dari hasil minyak ini belum mengalami proses pemurnian, sehingga jumlah nilai kalor pada minyak hasil pirolisis cenderung lebih tinggi dibandingkan nilai kalor bensin murni.

Karakteristik Warna Minyak

Pada pengujian dengan waktu 30 menit pertama minyak dari hasil pirolisis sampah plastik dengan jenis *polypropylene* cenderung lebih berwarna kuning tua atau gelap hal ini dapat disebabkan karena pada proses pembakaran yang tidak sempurna menyebabkan perubahan suhu plastik yang meningkat serta menciptakan adanya kandungan karbon dari sisa pembakaran yang ikut terbawa karena pada proses awal ini sampah plastik masih dalam bentuk benda padat sehingga kandungan gas hasil pembakaran ikut terbawa uap dan menghasilkan minyak yang didapat berwarna kuning tua atau gosong.

Pada menit ke 60 jumlah minyak yang dihasilkan juga cenderung lebih tinggi karena adanya kandungan air di dalamnya sehingga pada sampel waktu 60 menit, minyak yang dihasilkan berwarna kuning keruh dan terdapat adanya endapan seperti lilin. Adanya endapan ini dapat sebabkan karena minyak pirolisis mengandung parafin (Uebe et al., 2022). Berbeda halnya dari kedua sampel, sampel 90 adalah sampel yang memiliki minyak dengan warna dan karakteristik yang jauh berbeda dengan kedua sampel sebelumnya. Sampel minyak dari hasil pirolisis 90 menit ini menghasilkan minyak dengan warna kuning jernih dan memiliki karakteristik yang berbeda, yaitu tidak adanya kandungan endapan atau kandungan air seperti kedua sampel sebelumnya. Sampel 90 menit memiliki hasil yang baik karena pada proses ini, sampah plastik yang berada pada tabung *furnace* sudah melewati masa pembakaran yang sempurna, hal ini dapat dilihat dari kandungan minyak yang diperoleh tidak terdapat endapan bahkan kandungan air juga tidak terlihat adanya. Minyak dari hasil pirolisis sampah plastik cenderung memiliki sifat yang tak jenuh serta memiliki perbandingan karbon dan hydrogen yang tidak seimbang sehingga pada temperature reaktor tinggi menyebabkan terjadinya perbedaan warna yang dihasilkan (Nugroho, 2020). Kualitas minyak tidak dapat diamati secara visual saja, adanya perbedaan warna dapat dikarenakan adanya perbedaan suhu yang ada pada masa awal proses pirolisis dilakukan, sehingga untuk melihat kualitas minyak secara langsung dapat diamati dari ketidak terdapatnya endapan (char) di dalam minyak (Supu et al., 2021).

SIMPULAN

Pada penelitian ini didapatkan hasil dari ketiga waktu yang digunakan yaitu 30, 60, dan 90 menit. Volume minyak dengan jumlah terbanyak adalah dengan waktu 60 menit menghasilkan minyak sebesar 200 ml, sedangkan kualitas warna minyak yang dapat dikatakan lebih baik adalah sampel waktu 90 menit. Namun, indikator suatu minyak dapat dikatakan baik jika dilihat dari nilai kalor pada minyak. Pada pengujian ini nilai kalor terbaik adalah waktu 90 menit dengan nilai kalor sebesar 10831.1 Kcal/Kg. Sehingga pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa volume minyak, dan karakteristik warna minyak tidak dapat menjadi indikator suatu minyak yang baik

SARAN

Saran untuk peneliti selanjutnya adalah mengelola lebih lanjut minyak dari proses pirolisis yang lebih baik untuk digunakan, karena dalam penelitian ini minyak yang dihasilkan dari proses pirolisis belum melewati proses pemurnian sehingga nilai kalor yang dihasilkan masih tinggi daripada bensin murni.

DAFTAR PUSTAKA

- Arwini, N. P. D. (2022). Sampah Plastik Dan Upaya Pengurangan Timbulan Sampah Plastik. *Jurnal Ilmiah Vastuwidya*, 5(1), 72–82. <https://doi.org/10.47532/jiv.v5i1.412>
- Azizah, N. (2023). Analisis Dampak Keberadaan Pabrik Pengolahan Limbah Plastik CV Gumilang Plastik terhadap Kesejahteraan Masyarakat Desa Utama. *Jurnal Media Teknologi*, 9(2), 195–205. <https://doi.org/10.25157/jmt.v9i2.2937>
- Bind, M. A. (2019). Causal Modeling in Environmental Health. *Annual Review of Public Health*, 40, 23–43. <https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-040218-044048>
- Cruz, J. N., Hernández, I. P., Villalobo, M. de L. C., Henández, A. P., & Ávila, J. J. L. (2023). Thermochemical Degradation of Polypropylene: Energy and Exergy Analysis in a Tubular Reactor. *Journal of Ecological Engineering*, 24(5), 14–21. <https://doi.org/10.12911/22998993/161079>
- Erawati, E. (2023). Pirolisis Ca,puran Limbah Plastik Jenis Polietilena Berdensitas Tinggi. *Jurnal Integrasi Proses*, 12(1), 6–11. <http://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jip>
- Fathulloh, M. Z., Minanurrohman, M. R., Mahmudah, R., Islam, U., Maulana, N., & Ibrahim, M. (2021). Identifikasi Mikroplastik di Udara: Upaya Penanggulangan False Solution Plastic Management Environmental Pollution Journal. 1(3), 208–216. <https://doi.org/10.58954/epj.v1i3.66>
- Hidayat, F. F. D., & Siregar, I. H. (2022). Uji Karakteristik Minyak Pirolisis Berbahan Baku Limbah Plastik. *Jurnal Teknik Mesin*, 10(01), 13–20, 10(1), 13–20. <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/jtm-unesa/article/view/43904>
- Ismainar, H., Marlina, H., Afriza, B., & Atika, W. (2021). Gerakan Mengurangi Sampah Plastik dan Resiko Membakar Sampah dengan Pemberian Edukasi Kesehatan Melalui Penyuluhan. *Jurnal Pengabdian Kesehatan Komunitas*, 1(3), 188–195. <https://doi.org/10.25311/jpkk.vol1.iss3.1031>
- Jahirul, M. I., Faisal, F., Rasul, M. G., Schaller, D., Khan, M. M. K., & Dexter, R. B. (2022). Automobile Fuels (Diesel and Petrol) from Plastic Pyrolysis Oil—Production and Characterisation. *Energy Reports*, 8, 730–735. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.10.218>
- Khoiriyah, H. (2021). Analisis Kesadaran Masyarakat Akan Kesehatan terhadap Upaya Pengelolaan Sampah di Desa Tegorejo Kecamatan Pegandon Kabupaten Kendal.

- Indonesian Journal of Conservation*, 10(1), 13–20.
<https://doi.org/10.15294/ijc.v10i1.30587>
- Ma, T., Yang, K., Yang, L., Zhu, Y., Jiang, B., Xiao, Z., Shuai, K., Fang, M., Gong, J., Gu, Z., Xiang, P., Liu, Y., & Li, J. (2024). Different rotation years change the structure and diversity of microorganisms in the nitrogen cycle, affecting crop yield. *Applied Soil Ecology*, 193(August 2023), 105123. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2023.105123>
- Nofiyanti, E., Salman, N., Nurjanah, N., & Mellyanawaty, M. (2020). Pelatihan Daur Ulang Sampah Plastik Menjadi Souvenir. *Jurnal Abdi Masyarakat Program Studi Teknik Informatika Universitas Pamulang*, 1(2), 105–116. <http://openjournal.unpam.ac.id/index.php/JAMAIIKA/article/view/4934>
- Novia, T. (2021). Pengolahan Limbah Sampah Plastik Polythylene Terephthalate. *Jurnal Pendidikan Fisika dan Sains*, 4(1), 33–41. <https://doi.org/10.33059/gravitasi.jpfs.v4i01.3481>
- Nugroho, A. S. (2020). Pengolahan Limbah Plastik LDPE dan PP untuk Bahan Bakar dengan Cara Pirolisis. *Jurnal Litbang Sukowati: Media Penelitian dan Pengembangan*, 4(1), 10. <https://doi.org/10.32630/sukowati.v4i1.166>
- Pengo, Y., Tamelan, P., & Asrial, A. (2021). Pengelolaan Sampah di Kawasan Taman Ekowisata Mangrove Kota Kupang. *Jurnal Teknologi*, 15(1), 27–33. Retrieved from https://ejournal.undana.ac.id/index.php/jurnal_teknologi/article/view/4315.
- ppid.menlhk.go.id. (2023). *Festival Peduli Sampah Nasional 2023: Solusi Kurangi Polusi Plastik*. Ppid.Menlhk.Go.Id. <https://ppid.menlhk.go.id/berita/siaran-pers/7225/festival-peduli-sampah-nasional-2023-solusi-kurangi-polusi-plastik>
- Rafi, A., Hartono, P., & Margianto. (2019). Analisis Energi Terbrukan pada Proses Pirolisis dengan Memanfaatkan Sampah Plastik. *Jurnal Teknik Mesin*, 12(1). 30–40. <http://riset.unisma.ac.id/index.php/jts/article/view/3024>
- Rahmayani, C. A., & Aminah, A. (2021). Efektivitas Pengendalian Sampah Plastik Untuk Mendukung Kelestarian Lingkungan Hidup di Kota Semarang. *Jurnal Pembangunan Hukum Indonesia*, 3(1), 18–33. <https://doi.org/10.14710/jphi.v3i1.18-33>
- Ridhuan, K., Irawan, D., & Inthifawzi, R. (2019). Proses Pembakaran Pirolisis dengan Jenis Biomassa dan Karakteristik Asap Cair yang Dihasilkan. *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 8(1), 69–78. <https://doi.org/10.24127/trb.v8i1.924>
- Saputra, E., Sunaryo, D., Kunci, K., & Bakar, B. (2021). Studi Komparasi Performa Mesin SI Berbahan Bakar Peralite dan Plastic Pyrolysis Oil (PPO) Creative Research in Engineering. *Jurnal Creative Research in Engineering*, 1(1), 12–18. <http://dx.doi.org/10.30595/serie.v1i1.9477.g3708>
- Sariyah, N., Wangge, Y. S., Pao, M. I., & Lina, V. B. (2023). Edukasi Daur Ulang Sampah sebagai Upaya Pencegahan Terjadinya Pencemaran Lingkungan Akibat Sampah Plastik di Sdi Wolotopo. 1(2), 104–113. <https://doi.org/10.54066/jkb-itb.v1i2.655>
- Supu, I., Fitriani, N. N., & Sulmi, S. (2021). Penerapan Alat Sederhana Konversi Limbah Plastik Jenis Polyproplene (PP) dan Polyethylene Terephthalate (PET) Menjadi Bahan Bakar Minyak. *Cokroaminoto Journal of Chemical Science*, 3(1), 9–12. <https://science.e-journal.my.id/cjcs/article/view/71>
- Uebe, J., Kryzevicius, Z., Majauskienė, R., Dulevicius, M., Kosychova, L., & Zukauskaitė, A. (2022). Use of Polypropylene Pyrolysis Oil in Alternative Fuel Production. *Waste Management and Research*, 40(8), 1220–1230. <https://doi.org/10.1177/0734242X211068243>

Wajdi, B., Sapiruddin, S., Novianti, B., & Zahara, L. (2020). Pengolahan Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak (BBM) dengan Metode Pirolisis sebagai Energi Alternatif. *Kappa Journal*, 4(1), 100–112. <https://doi.org/10.29408/kpj.v4i1.2156>