

Efektivitas Alat Pengolahan Sampah Plastik Jenis *Low Density Polyethylene* (LDPE) dan *Polyethylene Terephthalate* (PETE) dengan Metode Pirolisis

¹Manarul Ikhsan, ²*I Putu Widianara, ³*Mega Trishuta Pathiassana

^{1,2*}Program Studi Manajemen Inovasi, Sekolah Pascasarjana, Universitas Teknologi Sumbawa

^{3*}Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Teknologi Sumbawa

Email Korespondensi: iputuwidiantara@uts.ac.id, mega.trishuta@uts.ac.id

Article Info	Abstract
<p>Article History Received: 30 Nov 2021 Revised: 24 Dec 2021 Published: 30 Dec 2021</p> <p>Keywords Effectivity; LDPE; PETE; Pyrolysis</p>	<p><i>Excessive usage of plastic has threatened not only environment but also human health if it is managed poorly. One of the solutions to manage plastic waste is through process of pyrolysis. A processing of plastic waste through pyrolysis is suggested where such process transform plastic waste into usable output of liquid, gas, and solid. Additionally, such process sorts out the liquid output into a number of characteristics thorough faucet 1, faucet 2, and faucet 3. In this experiment, low density polyethylene (LDPE) and polyethylene terephthalate (PETE) were used. Process of pyrolysis were carried out at temperatures of 100 and 140 °C and at processing time of 30, 60, and 90 minutes. It was found that for both plastics, the best condition to obtain maximum output of liquid through condensation of steam/gas were 140 °C for 90 minutes. Although the production of large liquid output was effectively done by using PETE (574 gram) than that of LDPE (197 gram). The output of LDPE may effectively result in liquid with clear appearance through faucet 1. Output of solid from LDPE was more tough than that of PETE. Output of gases from LDPE exhibited better combustion as compared to PETE.</i></p>
Informasi Artikel	Abstrak
<p>Sejarah Artikel Diterima: 30 Nov 2021 Direvisi: 24 Des 2021 Dipublikasi: 30 Des 2021</p> <p>Kata kunci Efektivitas; LDPE; PETE; Pirolisis</p>	<p>Penggunaan plastik yang berlebihan telah menyebabkan permasalahan lingkungan dan gangguan kesehatan bagi manusia jika tidak diolah dengan baik. Salah satu solusi pengolahan sampah plastik ini adalah dengan didaur ulang melalui proses pirolisis. Proses pengolahan sampah via pirolisis disarankan untuk menghasilkan keluaran cair, gas, dan padat. Selain itu, proses ini mampu memilah keluaran cair menjadi beberapa karakteristik melalui kran 1, kran 2, dan kran 3. Pada penelitian ini, jenis plastik yang dipergunakan adalah <i>low density polyethylene</i> (LDPE) dan <i>polyethylene terephthalate</i> (PETE). Proses pirolisis dilakukan dengan variasi temperature 100 dan 140 °C dan masing-masing dilakukan dengan waktu pirolisis 30, 60, dan 90 menit. Di sini ditemukan untuk kedua jenis plastik, temperature 140 °C dan waktu 90 menit adalah kondisi terbaik untuk menghasilkan keluaran cair hasil kondensasi uap/gas dengan jumlah terbanyak. Meski keefektivitasan yang lebih baik untuk menghasilkan keluaran cair adalah menggunakan PETE (574 gr) dan bukan LDPE (197 gr), namun penggunaan LDPE lebih efektif menghasilkan keluaran cair yang jernih dibandingkan dengan plastik PETE melalui kran 1. Keluaran padatan LDPE lebih tangguh dibanding PETE. Keluaran uap/gas yang dihasilkan oleh LDPE memiliki daya nyala yang lebih baik dibanding PETE.</p>
<p>Sitasi: Ikhsan, M., Widianara, I.P., & Pathiassana, M.T. (2021), Efektivitas Alat Pengolahan Sampah Plastik Jenis <i>Low Density Polyethylene</i> dan <i>Polyethylene Terephthalate</i> dengan Metode Pyrolysis, Kappa Journal. 5(2), 251-261.</p>	

PENDAHULUAN

Kantong plastik biasa dikenal sebagai LDPE contohnya kantong kresek dan plastik jenis PETE contohnya glass plastik kedua jenis plastik banyak digunakan karena sifatnya yang hampir tidak bisa dipecahkan, polimer tidak berwarna, ringan, dan transparan. Indonesia merupakan negara penghasil sampah plastik terbesar ke-2 didunia setelah Tiongkok dan 87% dari sampah plastik tersebut dibuang ke laut (Kurniawan and Sari 2016; Nufus and Zuriat 2020; Surono and Ismanto 2016; Yudhantari, Hendrawan, and Ria Puspitha 2019) dan hanya 13% yang berakhir di tempat pembuangan akhir (TPA) atau di daur ulang (Asngad, Amelia, and Aeni 2018; Luing 2016; Reynas Abdila 2021)

Seiring dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi, sampah plastik dapat diproses untuk dipergunakan kembali hidrokarbon sebagai bahan dasar energy alternatif (Fauziah et al. 2020; Wajdi et al. 2020). Pengolahan sampah plastik menjadi bahan bakar alternatif dapat dilakukan dengan menggunakan metode pirolisis. Pirolisis merupakan proses pembakaran pada temperature tinggi tanpa atau sedikit udara di mana material mentah akan mengalami pemecahan struktur kimia menjadi fase gas, minyak, serta residu berupa lilin dan arang (Anuar Sharuddin et al. 2016; Wahyudi et al. 2018; Yulianto 2021).

Penelitian sebelumnya mengolah sampah plastik menjadi bahan bakar minyak dengan proses pirolisis dan menghasilkan bahan bakar alternatif berbentuk cair (Anom and Lombok 2020; Iswadi, Nurisa, and Liastuti 2017; Wajdi et al. 2020) Ketiga penelitian ini memfokuskan sampah yang berjenis LDPE dan PETE. Kedua jenis plastik ini mudah diolah dan banyak dijumpai di pinggir jalan, dalam selokan maupun disungai (Hidayatullah 2020; Surono and Ismanto 2016).

Berdasarkan penelitian sebelumnya, keluaran yang dipergunakan adalah dalam bentuk cair sementara keluaran gas dan padatan hasil pirolisis dibuang begitu saja. Padahal gas hasil pyrolysis plastik ini masih bisa dimanfaatkan untuk gas pembakaran pengganti LPG (Sihombing 2021) Begitupun dengan hasil Padatan yang dapat dimanfaatkan untuk pembuatan batako (Masyrurroh and Rahmawati 2021). Berdasarkan uraian di atas, peneliti mengajukan alat pirolisis yang dapat menghasilkan 3 keluaran yang terdiri dari cair, gas, dan padat. Selain itu dalam penelitian ini menggunakan alat pirolisis yang menghasilkan tiga jenis keluaran cair yang nantinya memiliki karakteristik yang berbeda. Tiga saluran disediakan untuk keluaran cair dan uap yang dihasilkan cairan yang berat jenisnya lebih ringan akan keluar lewat saluran paling atas dan yang berat akan keluar lewat saluran lubang tengah dan bawah. Untuk saluran yang posisinya paling tinggi bertujuan untuk mengumpulkan uap/gas yang nantinya akan menghasilkan cairan yang tingkat kemurniannya paling tinggi karena mengandung materi hidrokarbon yang lebih ringan (Mahendra Aji Wicaksono 2017). Pada penelitian ini, jenis plastik yang akan diteliti adalah LDPE dan PETE. Disini sampah plastik ini akan diolah pada variasi temperature dan waktu kemudian keluaran dari kedua plastik ini akan dibandingkan.

METODE

Alat dan bahan yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah

1. Stopwatch : untuk menghitung waktu proses pirolisis
2. Kompor : untuk memanaskan reaktor

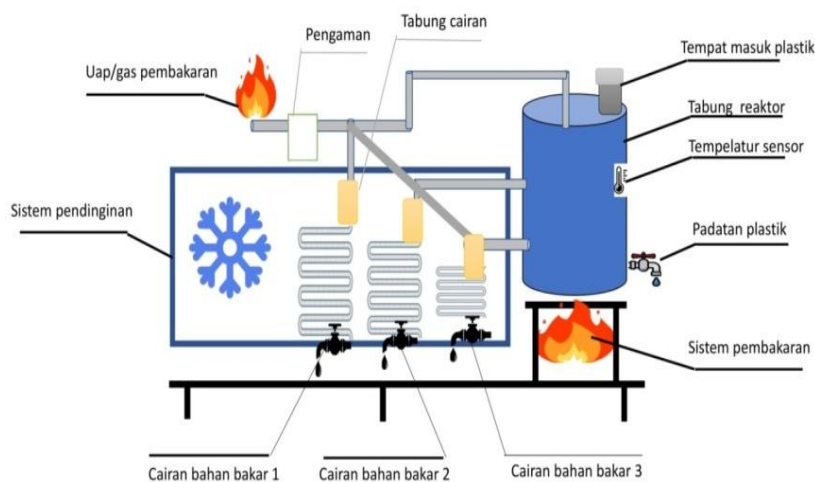
3. *Thermocouple* : untuk menghitung temperatur di dalam reaktor
4. Neraca/timbangan : untuk menghitung berat keluaran cair dan padat
5. Gelas ukur : untuk mengukur volume dari keluaran cairan.
6. Gas LPG : untuk bahan bakar pemanasan menggunakan kompor
7. Plastik LPDE : kantong plastik jenis kresek
8. Plastik PETE : plastik untuk kemasan gelas air mineral

Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimen menggunakan rangkaian alat pirolisis yang ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Alat pirolisis pengolahan sampah

Untuk skema alat pirolisis ditunjukkan pada gambar 2



Gambar 2. Skema alat pirolisis

Sebelum proses pirolisis, sampah dibersihkan, dikeringkan, kemudian dipotong-potong sehingga bisa dimasukkan melalui tempat masuk plastik ke dalam tabung reaktor yang memiliki diameter 46 cm dan tinggi 60 cm. Tabung reaktor dilengkapi oleh sensor temperatur untuk membaca temperatur pembakaran di dalam reaktor. Untuk menaikkan temperatur, digunakan sistem pembakaran berupa kompor dengan bahan bakar LPG 3 kg. Disini temperatur yang dipergunakan adalah 100 dan 140°C karena pada temperatur tersebut plastik mengalami titik lebur yang mana plastik mulai melunak dan berubah menjadi cair (Abbas 2021; Rafi 2019). Variasi waktu yang digunakan adalah 30, 60, dan 90 menit (Ainun

Rachmawati dan Yuni Nurhamida 2018). Selama proses pirolisis, sampah dibakar hingga terbentuk uap dan gas. Uap/gas akan menuju saluran yang nantinya menuju sistem pendinginan/kondensasi untuk pendinginan dengan menggunakan kipas listrik. Dari proses kondensasi ini akan dihasilkan keluaran cair melalui kran 1, kran 2, dan kran 3 untuk cairan bahan bakar 1, bahan bakar 2, dan bahan bakar 3, berturut-turut. Untuk uap/gas ada juga yang akan menuju saluran untuk keluaran uap/gas pembakaran. Pada saluran ini dilengkapi oleh pengaman untuk memastikan tidak ada gas yang kembali ke tabung reaktor. Plastik yang terbakar juga akan meleleh dan lelehannya akan menuju saluran padatan plastik yang nantinya akan masuk ke cetakan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

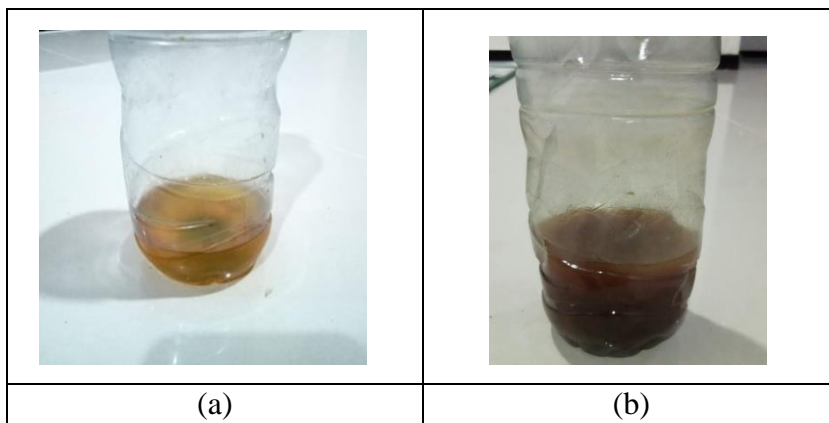
Berikut ini disajikan data hasil penelitian pengujian efektifitas alat pirolisis untuk pengolahan sampah plastik LDPE dan PETE. Masing-masing keluaran ini akan dijabarkan untuk kemudian dibahas.

Produk cair melalui proses kondensasi uap/gas

Tabel 1. Hasil pengamatan sampah plastik jenis LDPE

Temp. (°C)	Waktu (menit)	Massa Kran 1 (gr)	Massa Kran 2 (gr)	Massa Kran 3 (gr)
100	30	0	0	0
	60	9	7	0
	90	11	8	0
140	30	10	9	0
	60	12	9	0
	90	141	56	0

Tabel 1 menunjukkan keluaran cair proses pirolisis plastik jenis LDPE dengan variasi temperatur dan waktu pada kran 1, kran 2, dan kran 3. Pada temperatur 100 °C, keluaran cairan yang dihasilkan tidak signifikan meski pembakaran dilakukan hingga rentang waktu 90 menit dimana massa cairan yang dihasilkan adalah maksimal 11 gr dan 8 gr pada kran 1 dan kran 2, berturut-turut. Namun dengan menggunakan temperatur pembakaran 140 °C, keluaran cair yang dihasilkan sebanyak 141 gr dan 56 gr pada kran 1 dan kran 2, berturut-turut didapat dalam rentang waktu 90 menit. Untuk seluruh kondisi, tidak ada/sangat sedikit keluaran cair yang dihasilkan dari kran 3. Gambar 3 menunjukkan kran 1 menghasilkan keluaran cair dengan warna jernih sementara dari kran 2 menghasilkan keluaran cair dengan warna yang keruh.

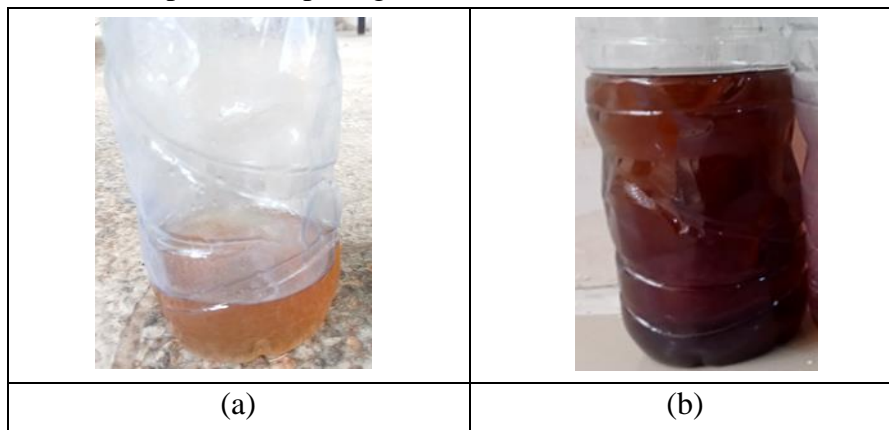


Gambar 3. Keluaran cair plastik LDPE dari (a) Kran 1 dan (b) Kran 2.

Tabel 2. Hasil pengamatan sampah plastik jenis PETE

Temp. (°C)	Waktu (menit)	Massa Kran 1 (gr)	Massa Kran 2 (gr)	Massa Kran 3 (gr)
100	30	0	0	0
	60	21	55	0
	90	22	56	0
140	30	22	55	0
	60	23	56	0
	90	89	485	0

Tabel 2 menunjukkan keluaran cair proses pirolisis plastik jenis PETE dengan variasi temperatur dan waktu pada kran 1, kran 2, dan kran 3. Keluaran cair mulai dihasilkan ketika temperatur 100 °C pada rentang waktu 60 menit dengan massa 21 gr dan 55 gr melalui kran 1 dan kran 2, berturut-turut. Jumlah keluaran yang hampir sama didapat ketika temperatur dan rentang waktu ditingkatkan sampai 140 °C dengan rentang waktu 60 menit. Pada kondisi temperatur 140 °C dan 90 menit barulah dihasilkan keluaran cair dengan massa 89 gr dan 485 gr pada kran 1 dan kran 2, berturut-turut. Keluaran cair memiliki karakteristik dengan warna keruh pada kedua kran pada temperatur 100 °C. Ketika temperatur dinaikkan menjadi 140 °C, barulah keluaran pada kran 1 memiliki warna jernih dan pada kran 2 memiliki warna kebiru-biruan. Keluaran cairan untuk PETE pada temperatur 140 °C dan waktu 90 menit pada kran 1 dan kran 2 dapat dilihat pada gambar 4.



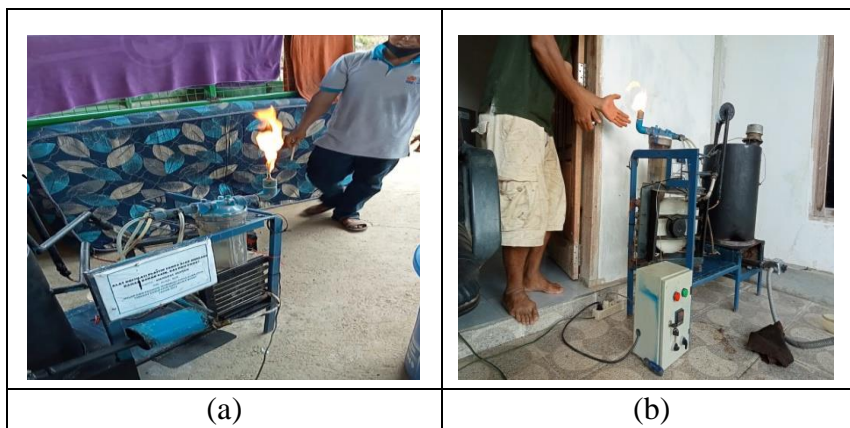
Gambar 4. Keluaran cair plastik PETE dari (a) Kran 1 dan (b) Kran 2.

Untuk kedua jenis plastik yaitu LDPE dan PETE, hasil terbanyak dihasilkan pada kondisi temperatur dan waktu 140 °C dan 90 menit, berturut-turut. Namun karakteristik keluaran cairan yang dihasilkan berbeda. Untuk LDPE menghasilkan keluaran cairan dengan warna jernih. Park dkk menunjukkan hasil yang serupa dimana LDPE yang diolah secara *non-catalyst* menghasilkan cairan jernih yang memiliki berat molekul ringan (Park et al. 2002). Ekspektasinya adalah ketika terjadi proses kondensasi untuk uap/gas maka juga akan menghasilkan cairan jernih. Menurut Wajdi dkk, cairan yang memiliki warna jernih ini adalah cairan dengan karakteristik mendekati bahan bakar bensin (Wajdi et al. 2020). Berdasarkan penelitian sebelumnya, plastik PETE diketahui menghasilkan dominan uap/gas yang mana hal ini sesuai dengan hasil penelitian disini yang mampu menghasilkan banyak uap/gas yang nantinya melalui proses kondensasi untuk dijadikan keluaran cair

(Cepeliogullar and E. Putun 2000). Rentang waktu disini masih mungkin untuk diturunkan sehingga proses kondensasinya dapat dipersingkat. Salah satu cara yang disarankan adalah dengan meningkatkan laju penurunan temperatur. Semakin tinggi laju penurunan temperatur maka semakin cepat keluaran cairan yang didapat. Meskipun pada penelitian ini sistem pendinginan/kondensor telah dilakukan pada pipa khusus yang biasanya dipergunakan pada *air conditioner* yang bisa memberikan laju penurunan yang baik (Poernomo et al. 2015), namun pendinginan dengan menggunakan kipas listrik dirasa masih belum optimal.

Produk uap/gas

Untuk keluaran gas pada sampel LDPE dihasilkan output gas yang menyala selama 30 detik dan memiliki karakteristik api yang lebih panjang. Sementara itu, untuk sampel PETE dihasilkan output gas yang hanya menyala selama 10-15 detik dan karakteristik api nyala lebih pendek dibandingkan LDPE. Gambar karakteristik api yang dihasilkan dapat dilihat pada gambar 5. Karakteristik dari gas LDPE ini memiliki kemiripan dengan karakteristik sifat fisika dan kimia fraksi bensin yang beredar dipasaran (Anom and Lombok 2020). Berdasarkan penelitian William dkk, kurangnya kemampuan nyala dari uap/gas dari PETE adalah disebabkan karena kandungan gasnya yang mengandung carbon dioksida yang merupakan gas yang tidak *flammable* dan tidak akan mendukung pembakaran (Williams and Williams 1999). Kemampuan menyala dari suatu gas juga dikaitkan dengan titik nyala (Syamsiro 2015).

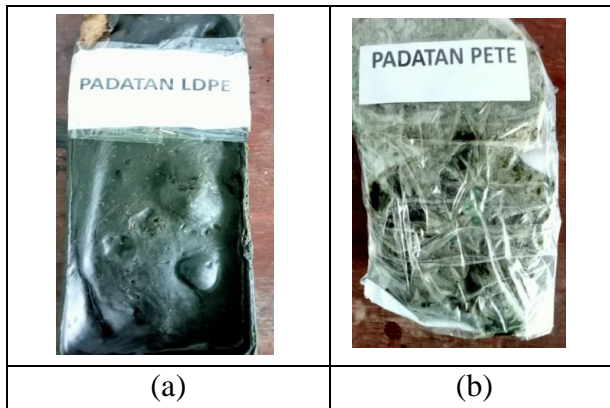


Gambar 5. Karakteristik api untuk (a) LDPE dan (b) PETE

Produk padat

Untuk padatan yang dihasilkan di peroleh setelah proses pylorisis selesai dilakukan, padatan yang dimaksud adalah sisa hasil pembakaran yang tidak bisa terurai menjadi fase cair dan uap berupa campuran karbon dan abu yang akan tertinggal setelah proses pirolisis selesai dilakukan (Liestiono et al. 2017) padatan yang dihasilkan plastik LDPE lebih padat dan menyatu dibandingkan dengan plastik PETE. Hal ini dikarenakan oleh material penyusun LDPE memiliki struktur kristal yang lemah (Anuar Sharuddin et al. 2016).

Gambar padatan hasil pylorisis dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Karakteristik padatan untuk (a) LDPE dan (b) PETE

Dari penelitian ini, bisa dikatakan bahwa pemilihan jenis plastik sampahnya dapat disesuaikan untuk kebutuhan. Penggunaan LDPE dapat menghasilkan keluaran cair hasil kondensasi uap/gas yang memiliki kejernihan tinggi. Alat pirolisis pada penelitian ini dapat memastikan keluaran cair melalui proses kondensasi uap/gas memiliki karakteristik kejernihan yang tinggi oleh karena adanya pemilahan keluaran cair melalui 3 kran. Selain itu juga penggunaan LDPE mampu menghasilkan keluaran gas yang tahan lama ketika dinyalakan. LDPE juga menghasilkan padatan yang lebih solid dibandingkan PETE. Penggunaan PETE dapat dipertimbangkan ketika ingin menghasilkan banyak keluaran cairan hasil kondensasi uap/gas dan tidak disarankan untuk menghasilkan keluaran gas karena kemampuan menyalnya yang tidak baik. Untuk karakteristik keluaran cair hasil kondensasi uap/gas telah mampu memilah keluaran yang mana dihasilkan keluaran cair dengan karakteristik warna yang berbeda pada temperatur tertentu. Pada penelitian selanjutnya, proses pyrolisis akan dilakukan pada plastik berjenis lain dan variabel temperatur dan waktu akan diperbanyak sehingga dapat dihasilkan lebih banyak produk dan pemilahan keluaran cair hasil kondensasi uap/gasnya dapat didistribusikan kepada 3 kran yang tersedia.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu :

1. Proses pengolahan sampah via pirolisis yang diajukan pada penelitian ini telah secara efektif mengolah sampah plastik jenis *low density polytehylene* (LDPE) dan *polyethylene terephthalate* (PETE) menghasilkan keluaran berupa cair, gas, dan padat.
2. Output cairan yang dihasilkan dari proses kondensasi uap/gas pada plastik PETE (574 gr) lebih banyak dibandingkan pada plastik LDPE (197 gr).
3. Melalui proses pemilahan, secara efektif output yang memiliki warna jernih akan keluar pada kran 1 dan terpisahkan dari yang keruh pada kran 2. Jumlah output cair pada kran 1 untuk plastik LDPE (141 gr) lebih banyak dibandingkan plastik PETE (89 gr).
4. Keluaran uap/gas plastik LDPE memiliki karakteristik nyala api yang baik sementara PETE kurang baik oleh karena kandungan karbon dioksidanya.
5. Keluaran padat plastik LDPE lebih padat dan menyatu dibandingkan PETE.

SARAN

1. Untuk percobaan selanjutnya, akan dipertimbangkan untuk menggunakan katalis dalam proses pirolisis.
2. Untuk proses kondensasi juga akan dipergunakan sistem pendinginan yang mampu menghasilkan suhu lebih rendah dan laju pendinginan yang lebih tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, Moh. 2021. "Perancangan Alat Pengolah Limbah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak Di CV. Berkah Anugerah Teknologi (CV. BAT) Surabaya Dan Evaluasi Kinerja Pompa Sentrifugal Reflux P. 100/06 Di Unit Kilang Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak Dan Gas Bumi (PPSD)."
- Ainun Rachmawati dan Yuni Nurhamida. 2018. "Pemanfaatan Limbah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak." 06(1): 68–72.
- Anom, I Dewe Ketut, and John Z Lombok. 2020. "Karakterisasi Asap Cair Hasil Pirolisis Sampah Kantong Plastik Sebagai Bahan Bakar Bensin." *Fullerene Journal of Chemistry* 5(2): 96.
- Anuar Sharuddin, Shafferina Dayana, Faisal Abnisa, Wan Mohd Ashri Wan Daud, and Mohamed Kheireddine Aroua. 2016. "A Review on Pyrolysis of Plastic Wastes." *Energy Conversion and Management* 115: 308–26.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2016.02.037>.
- Asngad, Aminah, Risky Amelia, and Nurul Aeni. 2018. "Pemanfaatan Kombinasi Kulit Kacang Dengan Bonggol Pisang Dan Biji Nangka Untuk Pembuatan Plastik Biodegradable Dengan Penambahan Gliserol." *Bioeksperimen: Jurnal Penelitian Biologi* 4(1): 11–19.
- Cepeliogullar, Ozge, and Ayse E. Putun. 2000. "Utilization of Two Different Types of Plastic Wastes from Daily and Industrial Life." *Journal of Selcuk University Natural and Applied Science*: 694–706.
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.868.1453&rep=rep1&type=pdf%0Ahttp://josunas.selcuk.edu.tr/login/index.php/josunas/article/view/200>.
- Fauziah, A, A.M.I.T. Asfar, A.M.I.A. Asfar, and E Handayani. 2020. *Pemanfaatan Limbah Botol Plastik Sebagai Aksesoris Rumah Dan Wanita*. Media Sains Indonesia.
- Hidayatullah, Junaedi. 2020. "Produksi Bahan Bakar Hasil Pirolisis Sampah Plastik LDPE Dengan Variasi Pendinginan."
- Iswadi, Didik, Fatmi Nurisa, and Erlina Liastuti. 2017. "Pemanfaatan Sampah Plastik LDPE Dan PET Menjadi Bahan Bakar Minyak Dengan Proses Pirolisis." *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia UNPAM* 1(2): 1–9.
openjournal.unpam.ac.id/index.php/JITK/article/download/718/585.
- Kurniawan, Eddy, and Inggit Sari. 2016. "Pengolahan Kantong Plastik Jenis Kresek Menjadi Bahan Bakar Menggunakan Proses Pirolisis."
- Liestiono, Ratih Puspita et al. 2017. "Karakteristik Minyak Dan Gas Hasil Proses Dekomposisi Termal Plastik Jenis Low Density Polyethylene (LDPE)." *Jurnal Offshore: Oil, Production Facilities and Renewable Energy* 1(2): 1.
- Luing, Wong Syie. 2016. "Cracking of Low Density Polyethylene Dissolved in Benzene to Liquid Fuels Using Zeolite-Based Catalysts."
- Mahendra Aji Wicaksono, Arijanto. 2017. "Pengolahan Sampah Plastik Jenis

- Pet(Polyethylene Perekthathathe) Menggunakan Metode Piorolisis Menjadi Bahan Bakar Alternatif.” *Jurnal Teknik Mesin* 5(1): 9–15.
- Masyruroh, Anis, and Iroh Rahmawati. 2021. “Pembuatan Recycle Plastik Hdpe Sederhana Menjadi Asbak.” *Jurnal Abdikarya* 3(1): 53–63.
- Nufus, Hayatun, and Zuriat Zuriat. 2020. “Sosialisasi Dampak Pencemaran Plastik Terhadap Biota Laut Kepada Masyarakat Di Pantai Lhok Bubon Aceh Barat.” *Jurnal Marine Kreatif* 3(2): 7–13.
- Park, Jong Jin, Kwinam Park, Jin Won Park, and Dong Chan Kim. 2002. “Characteristics of LDPE Pyrolysis.” *Korean Journal of Chemical Engineering* 19(4): 658–62.
- Poernomo, Heroe et al. 2015. “Analisis Karakteristik Unjuk Kerja Sistem Pendingin (Air Conditioning) Yang Menggunakan Freon R-22 Berdasarkan Pada Variasi Putaran Kipas Pendingin Kondensor.” *Kapal: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Kelautan* 12(1): 1–8.
- Rafi, Ahmad. 2019. “Analisis Energi Terbrukan Pada Proses Piorolisis Dengan Memanfaatkan Sampah Plastik.” *Jurnal Teknik Mesin* (Vol 12, No 01 (2019): Jurnal Teknik Mesin): 30. <http://riset.unisma.ac.id/index.php/jts/article/view/3024>.
- Reynas Abdila. 2021. “Indonesia Penyumbang Sampah Plastik Terbesar Kedua Di Dunia.” *tribunnews.com*.
- Sihombing, Siska BR. 2021. *Pemanfaatan Sampah Plastik Jenis Polypropylene (PP) Menjadi Bahan Bakar Alternatif*.
- Surono, Untoro Budi, and Ismanto Ismanto. 2016. “Pengolahan Sampah Plastik Jenis PP, PET Dan PE Menjadi Bahan Bakar Minyak Dan Karakteristiknya.” *Jurnal Mekanika Dan Sistem Termal* 1(1): 32–37.
- Syamsiro, Mochamad. 2015. “Kajian Pengaruh Penggunaan Katalis Terhadap Kualitas Produk.” *Teknik* 5(1): 1–85.
- Wahyudi, Jatmiko et al. 2018. “Pemanfaatan Limbah Plastik Sebagai Bahan Baku Pembuatan Bahan Bakar Alternatif the Utilization of Plastic Waste as Raw Material for Producing Alternative Fuel.” *XIV*(1): 58–67.
- Wajdi, Badrul, Sapiruddin Sapiruddin, BA Novianti, and Laxmi Zahara. 2020. “Pengolahan Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak (BBM) Dengan Metode Piorolisis Sebagai Energi Alternatif.” *Kappa Journal* 4(1): 100–112.
- Williams, Paul T., and Elizabeth A. Williams. 1999. “Interaction of Plastics in Mixed-Plastics Pyrolysis.” *Energy and Fuels* 13(1): 188–96.
- Yudhantari, Cok Istri, I Gede Hendrawan, and Ni Luh Putu Ria Puspitha. 2019. “Kandungan Mikroplastik Pada Saluran Pencernaan Ikan Lemuru Protolan (*Sardinella Lemuru*) Hasil Tangkapan Di Selat Bali.” *Journal of Marine Research and Technology* 2(2): 48.
- Yulianto, Faizal. 2021. “Pabrik Pengolah Sampah Plastik Menjadi Solar Di NTB Mulai Beroperasi.” *Antarane.com*.