

Pengaruh Variasi Temperatur Kerja Reaktor Terhadap Unjuk Kerja Sistem Pirolisis Sampah Plastik *Low Density Polyethylene* (LDPE)

Jaeng Sasongko¹⁾, I Nengah Suarnadwipa²⁾, Made Ricki Murti³⁾
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Sampah plastik merupakan sampah yang paling banyak dibuang sembarangan yang dapat menyumbat saluran drainase, selokan dan sungai sehingga bisa menyebabkan banjir. Untuk mengurangi dampak negatif dari sampah plastik ini, dapat diolah menjadi minyak yang dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif. Metode pengolahan sampah yang dapat digunakan adalah pirolisis. Pirolisis merupakan proses peruraian suatu bahan pada suhu tinggi tanpa adanya udara atau dengan udara terbatas. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menganalisis pengaruh variasi temperatur kerja reaktor terhadap unjuk kerja sistem pirolisis yang meliputi laju pemakaian energi bahan bakar LPG, kapasitas hasil minyak dan massa padatan arang hasil proses pirolisis sampah plastik Low Density Polyethylene (LDPE). Pengujian pirolisis dengan bahan baku plastik LDPE yang dalam pengujiannya menggunakan reaktor pirolisis dengan temperatur 200°C, 250°C, 300°C, 350°C dan 400°C, kemudian plastik tersebut di masukkan reaktor dan dipanaskan. Nantinya plastik berubah fase menjadi gas, lalu gas didinginkan di dalam kondensor yang nantinya keluar menjadi minyak dan ditampung di gelas ukur. Setelah dilakukan pengujian didapatkan laju pemakaian energi bahan bakar LPG dan volume minyak paling tinggi ada pada temperatur 400°C sebesar 4884,31 Joule/s dan volume minyak sebesar 492 ml. Semakin tinggi temperatur pirolisis, laju pemakaian energi bahan bakar LPG dan volume minyak yang diperoleh akan semakin besar. Sedangkan hasil pengamatan berat padatan diperoleh semakin tinggi temperatur reaktor, maka semakin kecil massa padatan yang dihasilkan. Pada temperatur 400°C menghasilkan padatan paling kecil sebesar 385gr.

Kata kunci: Pirolisis, Plastik LDPE, Bahan Bakar, Kapasitas Minyak, Padatan.

Abstract

Plastic waste is the type of waste that is most often thrown away carelessly and can clog drainage channels, ditches and rivers, which can cause flooding. To reduce the negative impact of this plastic waste, it can be processed into oil which can be used as an alternative fuel. The waste processing method that can be used is pyrolysis. Pyrolysis is the process of decomposing a material at high temperatures in the absence of air or with limited air. The aim of this research is to analyze the effect of variations in reactor working temperature on the performance of the pyrolysis system which includes the rate of energy consumption for LPG fuel, oil yield capacity and mass of charcoal solids resulting from the Low Density Polyethylene (LDPE) plastic waste pyrolysis process. Pyrolysis testing with LDPE plastic as raw material, which in the test uses a pyrolysis reactor with temperatures of 200°C, 250°C, 300°C, 350°C dan 400°C, then the plastic is put into the reactor and heated. Later the plastic changes phase to gas, then the gas is cooled in the condenser which then comes out into oil and is collected in a measuring cup. After testing, it was found that the highest rate of energy consumption for LPG fuel and oil volume was at a temperature of 400°C of 4884.31 Joules/s and an oil volume of 492 ml. The higher the pyrolysis temperature, the greater the rate of LPG fuel energy consumption and the volume of oil obtained. Meanwhile, the results of observing the weight of solids were obtained, the higher the reactor temperature, the smaller the mass of solids produced. At a temperature of 400°C it produces the smallest solids of 385g.

Keywords: Pyrolysis, LDPE Plastic, Fuel, Oil Capacity, Solids.

1. Pendahuluan

Sampah plastik merupakan sampah yang paling banyak dibuang manusia karena banyak orang yang menggunakan plastik untuk keperluan sehari-hari [1]. Salah satu contoh produk plastik yang paling sering digunakan yaitu kantong plastik (kresek). Hampir di setiap tempat jual beli menggunakan kantong plastik sebagai pembungkus barang yang dibeli oleh konsumen. Setelah barang yang dibeli tersebut sudah digunakan, tidak banyak orang yang mau mengumpulkan kantong plastik tersebut dan menggunakannya kembali (*reuse*), oleh karena itu kantong plastik yang tidak terpakai lagi tersebut hanya akan menjadi limbah di lingkungan. Plastik merupakan polimer hidrokarbon yang sulit terurai.

Sehingga akan berdampak negatif terhadap lingkungan karena tidak dapat terurai dengan cepat dan dapat menurunkan kesuburan tanah [2].

Sampah plastik yang dibuang sembarangan juga dapat menyumbat saluran drainase, selokan dan sungai sehingga bisa menyebabkan banjir [3]. Berdasarkan data dari daerah yang dihimpun oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) tahun 2022, jumlah timbunan sampah di Indonesia sebesar 68,7 juta ton/tahun dengan komposisi sampah didominasi oleh sampah organik, jenis sampah plastik menduduki peringkat kedua sebesar 5,4 juta ton per tahun atau 14 persen dari total produksi sampah [4]. Mengurangi sampah plastik dengan cara pembakaran juga bisa

dikatakan kurang efektif dan beresiko, sebab dengan pembakaran munculnya polutan dari emisi gas buang (CO_2 , CO , NO_x , dan SO_x) dan beberapa partikulat pencemar lainnya sehingga diperlukan cara pengolahan lain untuk mengolah sampah plastik [5]. Sampah plastik yang dibakar bisa mengeluarkan zat-zat yang berbahaya yang bersifat racun bagi kesehatan manusia [6].

Sampah plastik yang sangat umum ditemui yaitu kantong plastik atau biasa disebut plastik kresek yang biasa digunakan sebagai pembungkus suatu makanan, minuman, atau barang yang kita beli dari tempat perbelanjaan. Kantong plastik tersebut termasuk ke dalam plastik jenis *Low Density Polyethylene* (LDPE). Plastik jenis LDPE adalah termoplastik yang berasal dari minyak bumi. Untuk mengurangi dampak negatif dari sampah plastik yang sulit terurai, maka sampah plastik jenis LDPE ini dapat diolah menjadi minyak yang dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif karena plastik sendiri asalnya dari minyak bumi sehingga dapat dikembalikan ke bentuk asalnya, plastik juga memiliki nilai kalor yang cukup tinggi, hampir setara dengan solar dan bensin [7].

Salah satu metode pengolahan sampah yang dapat digunakan untuk mengurangi sampah terutama sampah plastik adalah metode pirolisis. Pirolisis merupakan proses peruraian suatu bahan pada suhu tinggi tanpa adanya udara atau dengan udara terbatas [8]. Dalam penelitian ini, temperatur operasi reaktor berkisar antara 200-400 °C dengan bahan baku berupa potongan plastik LDPE. Berbagai variabel yang berpengaruh dalam proses pirolisis antara lain suhu, waktu, dan kadar air bahan. Produk utama dari pirolisis yang dapat dihasilkan adalah padatan (arang), minyak, dan gas. Padatan arang yang terbentuk dapat digunakan untuk bahan bakar ataupun digunakan sebagai karbon aktif. Sedangkan minyak yang dihasilkan dapat digunakan sebagai zat aditif atau campuran dalam bahan bakar. Sedangkan gas yang terbentuk dapat dibakar secara langsung [9].

Dari penelitian Juliya A. Rs, dkk (2021), melakukan penelitian dengan menggunakan dua jenis plastik yaitu jenis LDPE dan plastik campuran dengan massa plastik setiap temperatur yaitu 150 g dan perbandingan suhu 350°C, 400°C, 450°C. Hasil dari penelitian menunjukkan perbandingan suhu terhadap densitas pada plastik LDPE, semakin tinggi suhu maka densitas semakin tinggi sedangkan pada plastik campuran apabila semakin tinggi suhu maka semakin rendah densitasnya. Endapan yang terbentuk dari proses pirolisis akan berkurang jika temperaturnya diatas 350°C sedangkan sisa abu/lapisan film dari plastik campuran ada di semua variasi suhu. Perbandingan temperatur terhadap volume minyak yang dihasilkan adalah suhu berbanding lurus dengan volume minyak yang diperoleh [10]. Penelitian tersebut hanya memvariasikan temperatur reaktor dan massa plastik yang sedikit. Oleh karena itu, penulis ingin melakukan penelitian terhadap pengaruh variasi temperatur reaktor yang lebih bervariasi dari

penelitian sebelumnya yakni 200, 250, 300, 350 dan 400°C, serta massa plastik LDPE diperberat lagi sebesar 1 kg pada setiap temperatur agar nantinya dapat mengetahui seberapa pengaruh temperatur reaktor terhadap performansi yang meliputi laju pemakaian bahan bakar, kapasitas hasil minyak dan massa endapan arang hasil proses pirolisis sampah plastik *Low Density Polyethylene* (LDPE).

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menganalisis pengaruh variasi temperatur kerja reaktor terhadap unjuk kerja sistem pirolisis yang meliputi laju pemakaian bahan bakar, kapasitas hasil minyak dan massa padatan arang hasil proses pirolisis sampah plastik *Low Density Polyethylene* (LDPE). Agar tidak menyimpang dari topik yang didiskusikan maka terdapat batasan masalah yakni sebagai berikut:

1. Plastik yang digunakan adalah plastik jenis *Low Density Polyethylene* (LDPE)
2. Api pemanas reaktor dianggap konstan pada saat pirolisis.
3. Suhu lingkungan diasumsikan konstan.
4. Jenis plastik LDPE yang digunakan berupa kantong kresek
5. Massa plastik yang digunakan sebesar 1 Kg.
6. Temperatur reaktor yang digunakan 200, 250, 300, 350 dan 400°C
7. Mesin pirolisis yang digunakan memiliki spesifikasi kondensor tunggal dan jenis aliran pada *heat exchanger* yaitu *counter flow*.

2. Dasar Teori

2.1 Plastik LDPE

LDPE merupakan plastik yang mudah dibentuk ketika panas, yang terbuat dari minyak bumi, densitasnya adalah sekitar 0,910 - 0,941 gr/cm³ dan tidak reaktif pada temperatur kamar, kecuali pada oksidator kuat dan beberapa jenis pelarut dapat menyebabkan kerusakan [11]. LDPE dapat bertahan pada temperatur 90°C namun dalam waktu yang tidak terlalu lama.



Gambar 1. Plastik LDPE

2.2 Pirolisis

Pirolisis adalah proses dekomposisi suatu bahan pada suhu tinggi yang berlangsung tanpa adanya udara atau dengan udara terbatas. Proses dekomposisi pada pirolisis ini juga sering disebut dengan devolatilisasi. Pirolisis atau bisa di sebut thermolisis adalah proses dekomposisi kimia dengan menggunakan pemanasan tanpa kehadiran oksigen [12].



Gambar 2. Proses Pirolisis

2.3 Laju Pemakaian Energi Bahan Bakar LPG

Laju pemakaian energi bahan bakar adalah besarnya jumlah massa bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghabiskan plastik di reaktor tiap satuan waktu. Besar kecilnya laju pemakaian energi bahan bakar tergantung pada massa plastik dan waktu proses pirolisis. Rumus untuk mencari laju pemakaian energi bahan bakar untuk LPG adalah sebagai berikut :

$$\dot{E}_{bb\text{ LPG}} = \frac{\dot{m}_{bb\text{ lpg}}}{t} \times NKB\text{ LPG} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan : \dot{E} = Laju Pemakaian Energi Bahan Bakar LPG (Joule/s)

\dot{m} = Massa Bahan Bakar LPG yang dipakai (Kg)

t = Waktu proses pirolisis (s)

NKB = Nilai Kalor Bawah LPG (47000 KJ/Kg)

3. Metode Penelitian

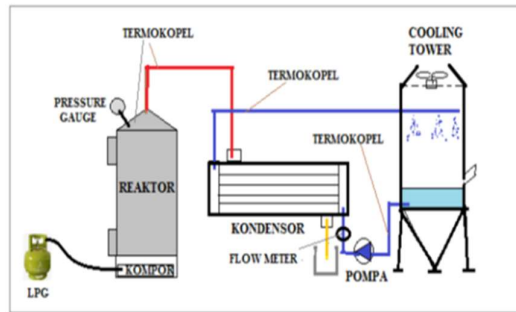
3.1 Alat dan Bahan Penelitian

Material pirolisis adalah jenis limbah plastik LDPE (*Low Density Polyethylene*) yaitu sampah kantong kresek dengan massa material 1 kg.

Alat yang dibutuhkan pada penelitian ini antara lain:

- Tabung LPG 3kg
- Regulator
- Kompor
- Reaktor Pirolisis
- Termokopel
- Kondenser
- Gelas ukur
- Flowmeter
- Pompa
- Cooling Tower
- Kondenser
- Pressure Gauge
- Timbangan

- Gunting
- Stopwatch



(a) Skematik Rancangan Penelitian Kapasitas pendinginan pada Pengembangan Sistem Pirolisis Limbah Plastik



(b) Alat Pirolisis

Gambar 3. Skema Dan Instalasi Alat Pirolisis

3.2 Prosedur Penelitian

1. Siapkan sampah plastik kantong kresek, bersihkan dari kotoran dan dikeringkan, kemudian dipotong-potong kecil dengan ukuran rata-rata 1 cm².
2. Timbang massa limbah plastik LDPE yang sudah dipotong-potong tadi kondisi kering dan bersih sejumlah 1 kg.
3. Persiapan alat pirolisis. Pastikan semua rangkaian alat pirolisis telah terpasang dengan baik.
4. Masukkan limbah plastik LDPE ke dalam reaktor pirolisis sebanyak 1 kg.
5. Kemudian hidupkan pemanas reaktor dan lakukan penyetingan temperatur 200°C pada *Thermocouple*.
6. Sirkulasikan air pendingin ke kondenser dengan menyalakan pompa dan *fan cooling tower*. Laju aliran air pendingin diatur dengan mengatur katup sehingga *flow meter* menunjukkan 0,10 liter/detik. Maka itu dihitung sebagai waktu awal.
7. Lakukan pencatatan data yang dibutuhkan meliputi pemakaian bahan bakar dan kapasitas minyak hasil pirolisis.
8. Hentikan pengoperasian alat pirolisis dengan mematikan pompa dan kompor jika sudah tidak ada minyak yang keluar.

9. Ambil massa padatan endapan di reaktor sisa proses pirolisis kemudian timbang massanya.
10. Ulangi langkah 4 sampai 10 untuk mengambil data temperatur selanjutnya yakni 250°C, 300°C, 350°C dan 400°C.
11. Jika selesai mencatat data hasil pirolisis pada setiap temperatur, analisis hasil datanya dan penelitian selesai.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Analisis Laju Pemakaian Energi Bahan Bakar Proses Pirolisis

Laju pemakaian bahan bakar didapatkan dari perhitungan massa bahan bakar LPG yang dipakai dibagi dengan waktu pirolisis kemudian dikali dengan nilai kalor bawah LPG. Nilai kalor bawah (LHV) untuk LPG adalah 47.000 kJ/kg lebih rendah dari LHV pertalite 47.300 kJ/kg [13].

Perhitungan laju pemakaian energi bahan bakar LPG pada temperatur 200°C

$$\begin{aligned} \dot{E}_{bb\text{ LPG}} &= \frac{\dot{m}_{bb\text{ lpg}}}{t} \times NKB\text{ LPG} \\ &= \frac{1,545\text{ Kg}}{27600s} \times 47.000.000\text{ Joule/Kg} \\ &= 2630,98\text{ Joule/s} \end{aligned}$$

Perhitungan laju energi bahan bakar LPG pada temperatur 250°C

$$\begin{aligned} \dot{E}_{bb\text{ LPG}} &= \frac{\dot{m}_{bb\text{ lpg}}}{t} \times NKB\text{ LPG} \\ &= \frac{1,895\text{ Kg}}{25800s} \times 47.000.000\text{ Joule/Kg} \\ &= 3452,13\text{ Joule/s} \end{aligned}$$

Perhitungan laju energi bahan bakar LPG pada temperatur 300°C

$$\begin{aligned} \dot{E}_{bb\text{ LPG}} &= \frac{\dot{m}_{bb\text{ lpg}}}{t} \times NKB\text{ LPG} \\ &= \frac{2,055\text{ Kg}}{24600s} \times 47.000.000\frac{\text{Joule}}{\text{Kg}} \\ &= 3926,22\text{ Joule/s} \end{aligned}$$

Perhitungan laju energi bahan bakar LPG pada temperatur 350°C

$$\begin{aligned} \dot{E}_{bb\text{ LPG}} &= \frac{\dot{m}_{bb\text{ lpg}}}{t} \times NKB\text{ LPG} \\ &= \frac{2,095\text{ Kg}}{22200s} \times 47.000.000\text{ Joule/Kg} \\ &= 4435,36\text{ Joule/s} \end{aligned}$$

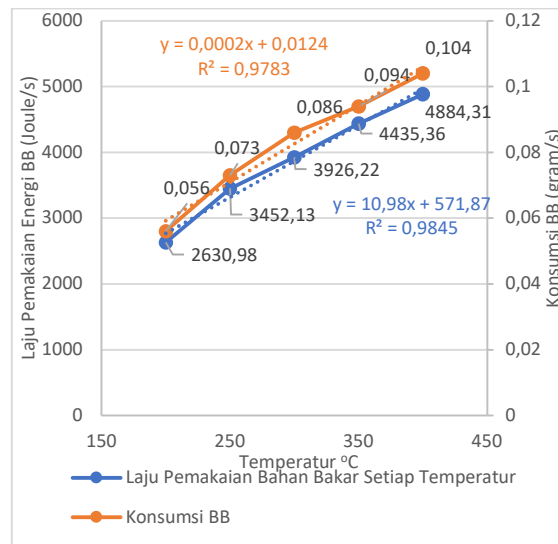
Perhitungan laju energi bahan bakar LPG pada temperatur 400°C

$$\begin{aligned} \dot{E}_{bb\text{ LPG}} &= \frac{\dot{m}_{bb\text{ lpg}}}{t} \times NKB\text{ LPG} \\ &= \frac{2,120\text{ Kg}}{20400s} \times 47.000.000\text{ Joule/Kg} \\ &= 4884,31\text{ Joule/s} \end{aligned}$$

Tabel 4. 1 waktu, massa total gas, konsumsi dan laju pemakaian energi proses pirolisis

Temp eratur (°C)	Waktu Pirolisis (menit)	Massa total gas LPG yang digunakan (Kg)	Konsumsi Bahan Bakar (gram/s)	Laju Pemakaian Energi Bahan Bakar (Joule/s)
200	460	1,545	0,056	2630,98
250	430	1,895	0,073	3452,13
300	410	2,055	0,086	3926,22
350	370	2,095	0,094	4435,36
400	340	2,120	0,104	4884,31

Meningkatnya laju pemakaian dan konsumsi bahan bakar bergantung pada temperatur dan waktu pirolisis, jika temperatur tinggi dan waktu pirolisis lama maka massa gas LPG yang diperlukan untuk menghabiskan plastik dalam reaktor juga semakin banyak. Untuk perolehan laju pemakaian energi bahan bakar masing-masing temperatur dapat dilihat pada gambar grafik 4. Untuk laju pemakaian energi paling besar ada pada temperatur 400°C sebesar 4884,31 Joule/s dan paling kecil pada temperatur 200°C sebesar 2630,98 Joule/s.



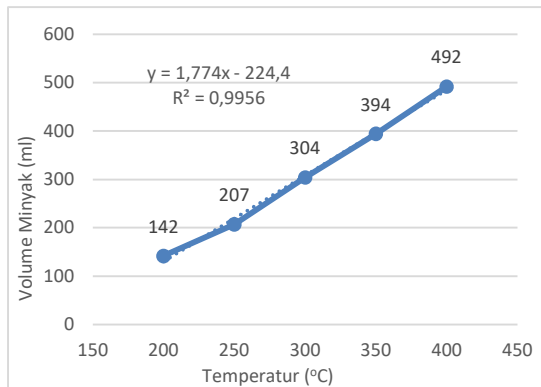
Gambar 4. Grafik Laju Pemakaian Energi Bahan Bakar pada setiap Temperatur

4.2 Kapasitas Hasil Minyak Proses Pirolisis



Gambar 5. Minyak Hasil Proses Pirolisis Plastik LDPE.

Pengaruh temperatur terhadap minyak hasil pirolisis disajikan pada gambar grafik 6. Dari grafik, dapat dilihat bahwa perolehan minyak tertinggi dari diperoleh pada temperatur 400°C sebesar 492 ml. Hasil minyak diukur di gelas ukur dengan memvariasikan temperatur yang menunjukkan semakin tinggi temperatur reaktor, maka minyak yang diperoleh semakin banyak. Hal ini disebabkan oleh ikatan struktur kimianya. Semakin tinggi temperatur reaktor maka pemecahan rantai hidrokarbon plastik lebih cepat, itu mengakibatkan ikatan hidrokarbonnya akan lebih pendek dan perubahan fase untuk menjadi gas lebih cepat sehingga nanti minyak yang dihasilkan akan meningkat.



Gambar 6. Grafik Kapasitas Hasil Minyak Pirolisis Tiap Temperatur

4.3 Massa Padatan Hasil Proses Pirolisis

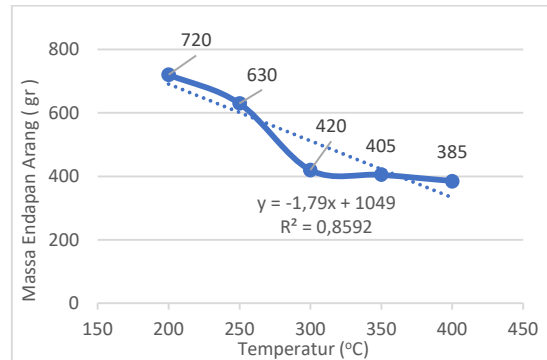
Selain minyak, hasil dari proses pirolisis lainnya adalah endapan padat. Padatan disini merupakan hasil akhir proses pirolisis yang berupa padatan yang tertinggal di dalam reaktor, seperti pada Gambar 8. Endapan padat terbentuk dari penguraian atau dekomposisi plastik proses pirolisis yang masih berada di dalam reaktor. Padatan hasil pirolisis plastik LDPE berwarna hitam, padat dan berbau menyengat.



Gambar 7. Endapan Padat di dalam Reaktor

Hasil pengamatan berat padatan disajikan pada gambar grafik 8, didapat pada temperatur paling rendah yaitu 200°C menghasilkan padatan yang paling banyak yaitu sebesar 720gr. Sedangkan pada temperatur paling tinggi 400°C menghasilkan padatan paling sedikit 385gr. Dari hasil penimbangan berat padatan setiap akhir proses pirolisis pada berbagai temperatur reaktor, terlihat bahwa semakin tinggi temperatur, jumlah padatan yang tertinggal di reaktor

semakin kecil. Hal ini dikarenakan dengan meningkatnya temperatur reaktor maka proses penguraian ikatan kimia bahan plastik di dalam reaktor lebih cepat sehingga padatan yang belum terdekomposisi di dalam reaktor semakin sedikit.



Gambar 8. Grafik Padatan Pirolisis Tiap Temperatur

5. Penutup

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan, disimpulkan bahwa laju pemakaian energi bahan bakar yang didapatkan bergantung pada temperatur pirolisis. Semakin tinggi temperatur pirolisis, laju pemakaian energi bahan bakar nilainya semakin besar. Untuk laju konsumsi bahan bakar tertinggi ada pada temperatur 400°C sebesar 4884,31 Joule/s. Semakin tinggi temperatur pirolisis, volume minyak yang diperoleh akan semakin banyak. Hasil minyak terbanyak ada pada temperatur reaktor 400°C sebesar 492 ml. Sedangkan hasil pengamatan berat padatan yang tertinggal di reaktor diperoleh bahwa semakin tinggi temperatur reaktor pirolisis, maka semakin kecil massa padatan yang dihasilkan. Pada temperatur 400°C menghasilkan padatan sebesar 385gr, sedangkan pada temperatur 200°C menghasilkan padatan paling banyak yaitu sebesar 720gr.

5.2 Saran

1. Diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai minyak hasil pirolisis plastik LDPE pada temperatur lebih dari 400°C.
2. Pada penelitian lanjutan terkait pirolisis plastik LDPE ada baiknya mengestimasi waktu maksimal proses pirolisis dimulai dari ketika temperatur pada reaktor mencapai titik temperatur yang ditentukan, sehingga tidak menunggu hingga tetes minyak terakhir.

Daftar Pustaka

- [1] Nadlifatin, R, 2018, *Pengolahan Limbah Plastik Menjadi Produk Kerajinan Tangan Untuk Meningkatkan Ekonomi Masyarakat Sendang Dajah*, Jurnal Abdikarya : Jurnal Karya Pengabdian Dosen dan Mahasiswa Vol 01 No 1.

- [2] Surono, U.B., 2013, *Berbagai metode konversi sampah plastik menjadi bahan bakar minyak*. Jurnal Teknik, 3, 32–40.
- [3] Untoro Budi, Sarono, 2013, *Berbagai Metode Konversi sampah Plastik menjadi bahan bakar Minyak*, Jurnal teknik. ISSN 20088-3676 Vol 3 No 1
- [4] Menlhk.go.id, 2023, *KLHK Ajak Masyarakat Kelola Sampah Organik Jadi Kompos*, https://www.menlhk.go.id/site/single_post/5308#:~:text=Berdasarkan%20data%20dari%20daerah%20yang,tersebut%20bersumber%20dari%20rumah%20tangga , diakses 15 Maret 2023
- [5] Nindita, V., 2015, *Studi Berbagai Metode Pembuatan BBM Dari Sampah Plastik Jenis LDPE Dan PVC Dengan Metode Thermal & Catalytic Cracking (Ni-Cr/Zeorlit)*, TEKNIS, Volume 10, Nomor 3, 137 – 144.
- [6] Parinduri S. K., Ilmi D. A., 2019, *Penyubliman Sampah Non-Organik Di Desa Cicadas*, Vol 3 No 3.
- [7] Prasetyo, H. (2015). *Mesin Pengolah Limbah Menjadi Bahan Bakar Alternatif*. Semarang: Universitas Negeri Semarang
- [8] Agra.I.B., 1985, *Pirolisis Sekam Padi secara Sinambung*, Karya Penelitian, 1, Lembaga Penelitian Universitas Gadjah Mada, 135-145.
- [9] Sukseswati, Dini D., 2010, *Karakteristik Sifat Fisik dan Kimia Minyak Hasil Pirolisis Lambat Campuran Sampah Kertas dan Daun*, Jurnal Penelitian Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, UNS.
- [10] Juliya Ascha Riandis, Agus Restu Setyawati, Ari Susandy Sanjaya, 2021, *Pengolahan Sampah Plastik Dengan Metode Pirolisis Menjadi Bahan Bakar Minyak*, Jurnal Chemurgy, Vol. 05, No.1, 8-14
- [11] Wantoro, W., Kusumaningrum, D., Setiadji, B.H., dan Kushardjoko, W. 2013. *Pengaruh Penambahan Plastik Bekas Tipe Low Density Polyethylene (LDPE) terhadap Kinerja Campuran Beraspal*. Jurnal Karya Teknik Sipil, 2 (4): 366–381.
- [12] Santoso Djoko Fadjar. *Apa Itu Pirolisis? Bisa Ubah Sampah Plastik Jadi BBM*, [www.pertamina.com:https://www.pertamina.com/id/newsroom/energianews/apa-itu-pirolisisbisa-ubah-sampah-plastik-jadi-bbm](http://www.pertamina.com/id/newsroom/energianews/apa-itu-pirolisisbisa-ubah-sampah-plastik-jadi-bbm). diakses 30 Maret 2023.
- [13] Sarsetiyanto, J., Denny ME Soedjono, Heru Mirmanto, Dedy Z Noor, 2018 *Studi Perbandingan Daya Mesin Motor Bakar Torak 4 Langkah Tipe KD250AT Menggunakan Bahan Bakar Bensin dan Setelah Dimodifikasi Menjadi Berbahan Bakar Gas (LPG)* , Jurnal Teknik Mesin Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) ISSN 2085-4218.

