

ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR PIROLISIS LIMBAH PLASTIK *HIGH DENSITY POLYETHYLENE* (HDPE) TERHADAP LAJU REAKSI HASIL BIO OIL SEBAGAI BAHAN BAKAR ALTERNATIF

Novi Laura Indrayani¹⁾

¹⁾Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam “45” Bekasi
Jl. Cut Mutia No.83, Margahayu, Bekasi Tim., Kota Bks, Jawa Barat 17113
E-mail Penulis: novie.laura@unismabekasi.ac.id

Riri Sadiana²⁾, Niko Alifin Novianto²⁾, dan Novin Syahputra²⁾

²⁾Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam “45” Bekasi
Jl. Cut Mutia No.83, Margahayu, Bekasi Tim., Kota Bks, Jawa Barat 17113

Abstrak

Plastik merupakan senyawa polimer sintetik yang terbentuk dari polimerisasi molekul-molekul kecil (monomer) yang tersusun dari ikatan hidrokarbon. Penggunaan sampah plastik sebagai bahan untuk menghasilkan bahan bakar biooil merupakan suatu alternatif yang dapat meningkatkan nilai ekonomis dari sampah plastik, disamping itu juga dapat menyelesaikan salah satu masalah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa karakteristik bahan bakar biooil yang dihasilkan dari sampah plastik jenis *High Density Poly Ethylene* (HDPE) dengan proses pirolisis. Variabel metodologi penelitian yang dilakukan meliputi; waktu pirolisis selama 120 menit dan temperatur pirolisis adalah 390°C, 410°C, 430°C, dan 450°C. Pengujian terhadap biooil hasil pirolisis didasarkan pada titik nyala. Selanjutnya dilakukan perhitungan kinetika reaksinya dengan metode Persamaan Arrhenius. Temperatur optimum pirolisis plastik HDPE adalah pada temperatur 450°C dengan efisiensi konversi sebesar 59,3% wt. Nilai konstanta laju reaksi yang didapatkan sebesar $k = 7,3 \times 10^9 .e$ (117.013/R.T).

Kata Kunci: Efisiensi, HDPE, konstanta laju reaksi, pirolisis.

Abstract

Plastics are synthetic polymer compounds formed from the polymerization of small molecules (monomers) composed of hydrocarbon bonds. The use of plastic waste as a material to produce fuel oil is an alternative that can increase the economic value of plastic waste, besides that it can also solve one of the environmental problems. This study aims to analyze the characteristics of fuel oil produced from plastic waste type *High Density Poly Ethylene* (HDPE) with the pyrolysis process. The research methodology variables include; the pyrolysis time was 120 minutes and the pyrolysis temperatures were 390oC, 410oC, 430oC, and 450oC. The test of the pyrolysis oil is based on the flash point. Furthermore, the calculation of the reaction kinetics using the Arrhenius Equation method. The optimum temperature for HDPE plastic pyrolysis is at a temperature of 450°C with a conversion efficiency of 59.3% wt. The value of the reaction rate constant obtained is $k = 7.3 \times 10^9 .e$ (117.013/R.T).

Keywords: Efficiency, HDPE, reaction rate constant, pyrolysis.

PENDAHULUAN

Peningkatan kuantitas sampah kota merupakan konsekuensi logis dari perkembangan kota akibat pertumbuhan penduduk yang semakin meningkat, dan pergeseran pola hidup masyarakat. Diantaranya peningkatan penggunaan plastik untuk keperluan rumah tangga yang berdampak pada peningkatan timbunan sampah plastik. Banyak dari masyarakat tidak menyadari bahaya yang akan ditimbulkan akibat penggunaan plastik terhadap kesehatan mereka sendiri dan terhadap lingkungan sekitar. Pemakaian kemasan plastik yang jumlahnya sangat besar, berdampak juga pada lingkungan dikarenakan banyak plastik yang direkomendasikan hanya untuk sekali pakai saja. Ini menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan terutama pada tanah, karena *mikro organisme* dalam tanah sulit untuk menguraikan sampah plastik tersebut. Perlu waktu berpuluh-puluh tahun untuk tanah menguraikan sampah-sampah dari bahan plastik tersebut. Untuk mengatasinya, para pakar lingkungan dan ilmuwan dari berbagai disiplin ilmu telah melakukan berbagai penelitian dan tindakan. Penanganan sampah plastik yang populer selama ini adalah dengan metode 3R (*Reuse, Reduce, Recycle*). *Reuse* adalah memakai berulang kali barang-barang yang terbuat dari plastik. *Reduce* adalah mengurangi

pembelian atau penggunaan barang-barang dari plastik, terutama barang-barang yang sekali pakai. *Recycle* adalah mendaur ulang barang-barang yang terbuat dari plastik.

Beberapa plastik yang biasa digunakan sebagai bahan baku adalah *Poly Ethylene Terephthalate (PET)*, *High Density Poly Ethylene (HDPE)*, *Poly Vinyl Chloride (PVC)*, *Low Density Poly Ethylene (LDPE)*, *Poly Propylene (PP)*. Jenis plastik yang sering ditemukan adalah PET yang digunakan sebagai bahan baku botol air mineral, LDPE yang digunakan sebagai bahan baku kantong kresek dan PP yang digunakan sebagai gelas air mineral.

Perlu adanya alternatif proses daur ulang yang lebih menjanjikan dan berprospek ke depan untuk menanggulangi banyaknya sampah plastik, dengan mengolah sampah plastik menjadi produk yang lebih berguna, salah satunya yaitu dengan mengubah sampah plastik menjadi bahan bakar alternatif dengan menggunakan metode pirolisis. Pirolisis merupakan suatu proses dekomposisi termokimia dari biomassa menjadi sejumlah produk yang bermanfaat. Pirolisis dilakukan pada temperatur tinggi tanpa adanya oksigen sama sekali (*anaerob*) atau dengan sedikit oksigen sehingga tidak memungkinkan terjadinya gasifikasi berlebihan. Proses dekomposisi pada pirolisis ini juga sering disebut dengan devolatilisasi. Pirolisis berasal dari bahasa Yunani "*pyr*" artinya api dan "*lysis*" artinya memisahkan. Produk utama dari pirolisis yang dapat dihasilkan adalah Padat (*tar* atau karbon atau arang), cair (*bio-oil*, *tar*, hidrokarbon, dan air), dan gas (CO_2 , H_2O , CO , C_2H_2 , C_2H_4 , C_2H_6 , C_6H_6 , dan lain-lain). Proses pirolisis dimulai pada temperatur sekitar 230°C , ketika komponen yang tidak stabil secara termal, dan *volatile matters* pada sampah akan pecah dan menguap bersamaan dengan komponen lainnya. Pirolisis merupakan salah satu proses yang dapat digunakan untuk menghasilkan suatu bahan bakar biooil dari material berbahan dasar plastik.

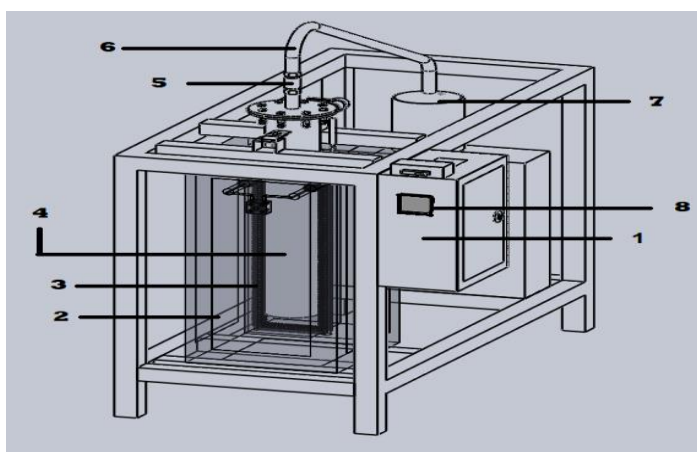
Proses pirolisis sampah plastik merupakan teknologi konversi termokimia yang masih perlu dikembangkan. Selain itu, keterbatasan data-data kinetik untuk penentuan Persamaan laju termal dekomposisi secara menyeluruh. Data-data itu diperlukan untuk rancang bangun reaktor pirolisis. Beberapa penelitian seputar konversi sampah plastik menjadi produk cair berkualitas bahan bakar telah dilakukan dan menunjukkan hasil yang cukup prospektif untuk dikembangkan (Mulyadi, 2004). Melalui penelitian ini, reaksi pirolisis dilakukan dengan variasi temperatur sehingga dapat diperoleh kondisi operasi optimumnya dan data kinetika yang dibutuhkan dalam perancangan alat pirolisis pada kondisi tersebut.

METODE

Penelitian dilakukan di 2 tempat yaitu di Workshop Teknik Mesin Unisma Bekasi dan pengujian *flash point* PMCC ASTM 93-20 di PT. Petrolab Services. Metode ini terdiri dari pemilihan bahan dan alat, prosedur penelitian, dan pengujian biooil.

Bahan dan Alat Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampah plastik botol HDPE. Sedangkan alat-alat yang digunakan sebagai berikut: reaktor pirolisis seperti yang terlihat pada Gambar 1. adalah tempat dimana terjadinya proses pirolisis sampah plastik HDPE. Plastik yang dimasukkan sudah dipotong terlebih dahulu. Proses pirolisis terjadi dengan bantuan pemanas oleh *coil* yang menggunakan energi listrik.



Gambar 1. Skema Alat Pirolisis

Keterangan:

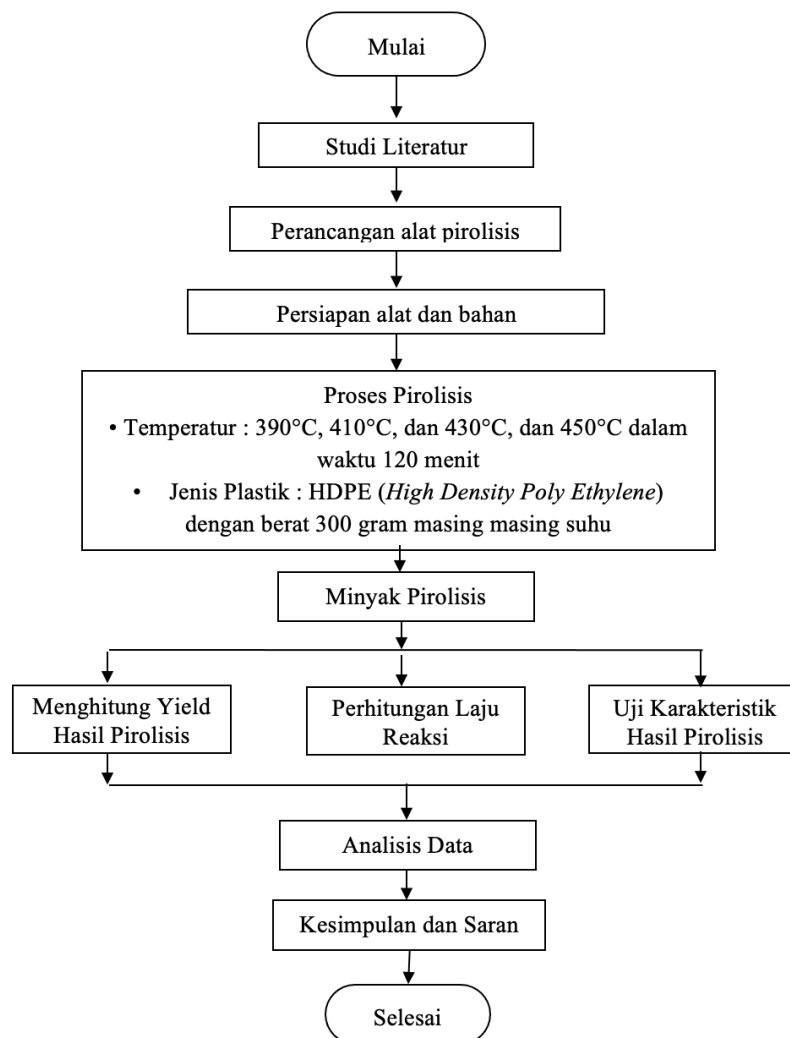
1. *Thermocontroller* atau panel untuk mengatur temperatur
2. Dinding tempat pembakaran
3. *Coil*/Elemen Pemanas
4. Tabung Reaktor
5. *Valve*
6. Pipa Penghubung
7. Tempat menampung biooil pirolisis
8. Indikator temperatur.

Prosedur Penelitian

Proses pirolisis dilakukan dengan variasi temperatur 390°C , 410°C , 430°C dan 450°C . Dengan menggunakan waktu 120 menit dan bahan sampah plastik HDPE sebesar 300 gram (Gambar. 2). Prosedur dalam proses pirolisis dilakukan melalui beberapa tahapan proses diantaranya sebagai berikut:

1. Mempersiapkan bahan baku yaitu sampah plastik HDPE
2. Membersihkan, mengeringkan, mencacah, dan menimbang sampah plastik HDPE sebanyak 300 gram.

3. Setelah point ke-2 sudah siap, kemudian memasang semua peralatan sesuai dengan skema alat pirolisis seperti pada Gambar 3.4
4. Memasukkan sampah plastik HDPE kedalam reaktor
5. Memanaskan reaktor pirolisis sampai temperatur 390°C.
6. Tunggu sampai temperatur mencapai 390°C lalu buka kran yang ada di pipa penghubung, setelah berubah menjadi cair pada tetesan pertama diamati dan diberi waktu selama 120 menit keba mudian catat hasil dari pirolisis tersebut selama 120 menit.
7. Mematikan listrik reaktor dan mempersiapkan proses pirolisis selanjutnya.
8. Mengulangi langkah (1)-(7) dengan bahan yang sama dengan temperatur 410°C.
9. Mengulangi langkah (1)-(7) dengan bahan yang sama dengan temperatur 430°C.
10. Mengulangi langkah (1)-(7) dengan bahan yang sama dengan temperatur 450°C.
11. Melakukan pengujian karakteristik dan efisiensi alat dari hasil pirolisis tersebut.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

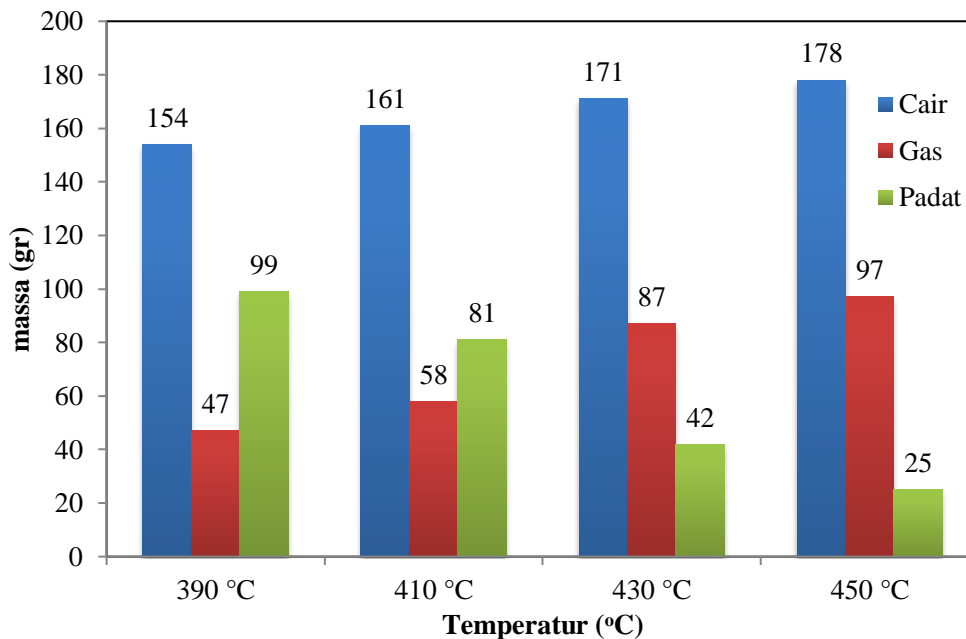
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pirolisis plastik dapat dikelompokkan menjadi 3 bagian yaitu gas, cair (bio oil) dan residu padat (Bajus dan Hajekova 2010). Banyak hal yang mempengaruhi pirolisis dari plastik, yaitu temperatur, waktu, ukuran partikel dan berat partikel (Ramadhan dan Ali 2012). Pada penelitian ini dilakukan proses pirolisis dengan menggunakan plastik jenis HDPE sebanyak 300 gram. Temperatur pirolisis yang digunakan adalah 390°C, 410°C, 430°C, dan 450°C dalam waktu 2 jam. Data hasil pirolisis tersebut disajikan pada Tabel 1. berikut :

Tabel 1. Hasil Pirolisis HDPE

Temperatur Reaktor (°C)	Bio oil yang dihasilkan (g)	Gas yang dihasilkan (g)	Residu padat yang dihasilkan (g)
390°C	154	47	99
410°C	161	58	81
430°C	171	87	42
450°C	178	97	25

Pada Tabel 1. menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur yang digunakan semakin banyak biooil yang dihasilkan dan residu yang dihasilkan semakin berkurang. Semakin bertambah tingginya temperatur pemanasan maka zat-zat yang terkandung dalam plastik akan terurai dengan sempurna. Zat-zat tersebut akan terurai menjadi gas dan cair (bio oil) (Ramadhan dan Ali 2012). Pada pirolisis plastik HDPE didapatkan data bahwa jumlah cairan tertinggi pada saat temperatur reaktor sebesar 450°C dan terendah pada temperatur 390°C, masing-masing sebesar 178 gram dan 154 gram. Jumlah gas yang dihasilkan mencapai persentase terendah pada temperatur 390°C dan mencapai persentase tertinggi pada temperatur 400°C yaitu masing-masing sebesar 47 gram dan 97 gram. Sedangkan padatan yang dihasilkan tertinggi pada saat temperatur reaktor 390°C dan terendah pada temperatur 450°C masing-masing sebesar 99 gram dan 25 gram. Selain itu, semakin tinggi temperatur dinding reaktor maka bio oil yang dihasilkan juga semakin meningkat. Sedangkan jumlah padatan yang tersisa hasil pirolisis semakin menurun dengan meningkatnya temperatur dinding tabung reaktor.

**Gambar 3.** Data Hasil Pirolisis Plastik HDPE

sis

Efisiensi Konversi Hasil Pirolisis

Analisis Efisiensi Konversi Hasil Pirolisis

Dengan menggunakan Persamaan 1. maka dapat dihitung efisiensi konversi dari setiap variabel temperatur sebagai berikut:

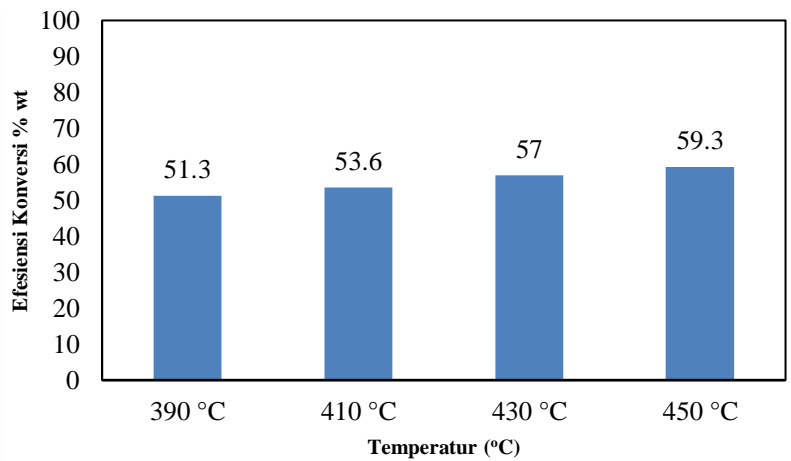
$$\text{Conversion Efficiency} = \frac{W_o}{W_{sm}} \times 100 \% \quad (1)$$

Keterangan :

CE = Efisiensi Konversi (%)

 W_o = Berat minyak yang dihasilkan (g) W_{sm} = Berat umpan plastik (g)

Dimana W_o adalah berat bio oil yang dihasilkan dari proses pirolisis, dengan melihat Tabel 1. maka W_o pada temperatur 390°C adalah sebesar 154 gram. Untuk W_{sm} adalah berat umpan awal yang digunakan untuk proses pirolisis yaitu sebesar 300 gram. Dari hasil perhitungan efisiensi konversi setiap variabel temperatur maka dapat disajikan grafik seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Efisiensi Konversi Hasil Pirolisis

Gambar 4. menunjukkan untuk tiap variabel temperatur mengalami peningkatan efisiensi konversi %wt dimana semakin tinggi temperatur maka efisiensi konversi %wt akan meningkat, efisiensi konversi tertinggi berada pada temperatur 450°C dengan efisiensi konversi sebesar 59,3 %wt. Hal ini sesuai teori dimana meningkatnya produk liquid hasil pirolisis dipengaruhi oleh lama waktu pirolisis, temperatur pirolisis dan proses kondensasi yang optimum karena faktor ini yang yang mempengaruhi proses degradasi dari hidrokarbon pada multilayer packaging (Luca Rosi, 2014).

Analisis Efisiensi Pengurangan Limbah Hasil Pirolisis

Dengan menggunakan Persamaan 2. maka dapat dihitung efisiensi pengurangan limbah dari setiap temperatur sebagai berikut:

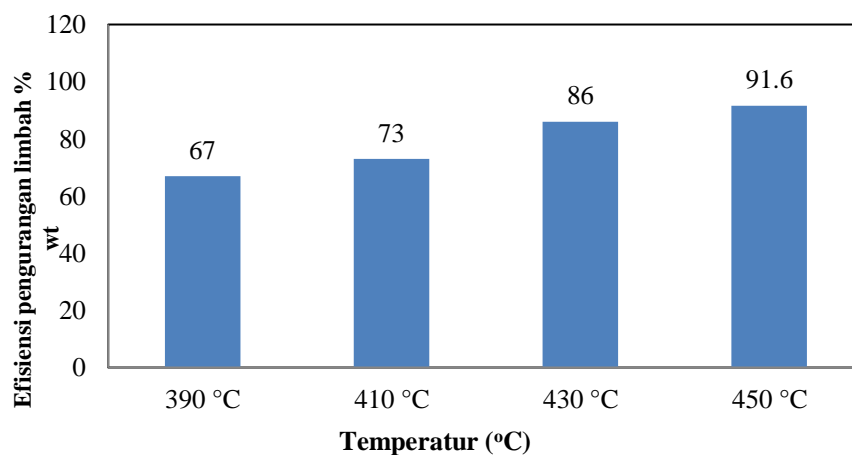
$$\text{Waste Reduction Efficiency} = \frac{W_{sm} - W_c}{W_{sm}} \times 100 \% \quad (2)$$

Keterangan :

WRE = Efisiensi Pengurangan Limbah (%)

W_c = Berat char di reaktor (g)

W_{sm} = Berat umpan plastik (g)



Gambar 5. Efisiensi Pengurangan Limbah Hasil Pirolisis

Dimana W_c adalah berat char yang dihasilkan dari proses pirolisis, dengan melihat Tabel 1. maka W_c pada temperatur 390°C adalah sebesar 99 gram. Untuk W_{sm} adalah berat umpan awal yang digunakan untuk proses pirolisis yaitu sebesar 300 gram. Dari hasil perhitungan efisiensi pengurangan limbah semua variabel temperatur maka dapat disajikan grafik seperti pada Gambar 5.

Gambar 5. menunjukkan untuk tiap variabel temperatur mengalami penurunan efisiensi pengurangan limbah % wt dimana semakin tinggi temperatur maka efisiensi pengurangan limbah % wt akan meningkat, efisiensi pengurangan limbah % wt terendah berada pada temperatur 390°C dengan efisiensi pengurangan limbah % wt sebesar 67 %. Hal ini sesuai teori dimana semakin lama waktu pirolisis maka bahan baku yang terdegradasi semakin banyak juga dan terkonversi menjadi produk. (Kadirunhalu, Mei 2012).

Analisis Konstanta Laju Reaksi

Analisis konstanta laju reaksi didapatkan dengan menggunakan Persamaan Arrhenius yang ada di Persamaan 3. Persamaan Arrhenius merupakan metode yang paling sederhana untuk memodelkan proses pirolisis.

$$k = Ae^{-Ea/RT} \quad (3)$$

dimana :

k_a = Konstanta laju reaksi

A = Faktor pre-eksponensial (1/min)

R = Konstanta gas (8.314 J/Kmol)

T = Suhu absolute (K)

E_a = Energi aktivasi (kJ/mol)

Dari Persamaan 3 jika dimasukkan dalam bentuk logaritma didapatkan Persamaan 4. dan Persamaan 5. yang ditulis sebagai berikut:

$$\ln k = \ln A \left(-\frac{Ea}{RT} \right) \quad (4)$$

$$\ln k = \left(-\frac{Ea}{R} \right) \left(\frac{1}{T} \right) + \ln A \quad (5)$$

Persamaan 4 dan Persamaan 5 dirubah ke bentuk logaritma karena adanya Persamaan eksponensial, untuk menghilangkan nilai eksponensial, semua ruas dikalikan dengan ln, sehingga menjadi Persamaan garis lurus untuk mendapatkan nilai energi aktivasi dan faktor pre-eksponensial, dimana plot untuk sumbu x adalah $1/T$ dan untuk sumbu y adalah $\ln k$.

Laju perubahan dari solid ke tar dapat dituliskan dengan Persamaan 6. sebagai berikut:

$$\alpha = -kf(\alpha) \quad (6)$$

Dimana α , $k(T)$, $f(\alpha)$ adalah derajat konversi dari proses, waktu, laju reaksi konstan dan pemodelan dari reaksi. Secara umum α adalah bentuk penambahan tar, dari Persamaan 6. jika dimasukkan untuk menghitung massa dari tar didapatkan Persamaan 7 yang dapat ditulis sebagai berikut:

$$dw/dt = -k(w - w_\infty)^n \quad (7)$$

dimana :

dw = perubahan massa dalam interval tertentu

dt = selang waktu pengambilan data

w = fraksi massa plastik dimana m_t/m_{t0}

w_∞ = fraksi residu padat pada saat $t = \tau$ waktu tak hingga m_∞/m_{t0}

n = ordo reaksi

Karena penelitian ini hanya menggunakan massa umpan awal dan massa akhir residu dengan mengasumsikan ordo reaksi = 0, maka dari Persamaan 7 dapat ditulis Persamaan 8 sebagai berikut :

$$dw/dt = -k \left(\frac{m_t}{m_{t0}} \right) \quad (8)$$

Dimana :

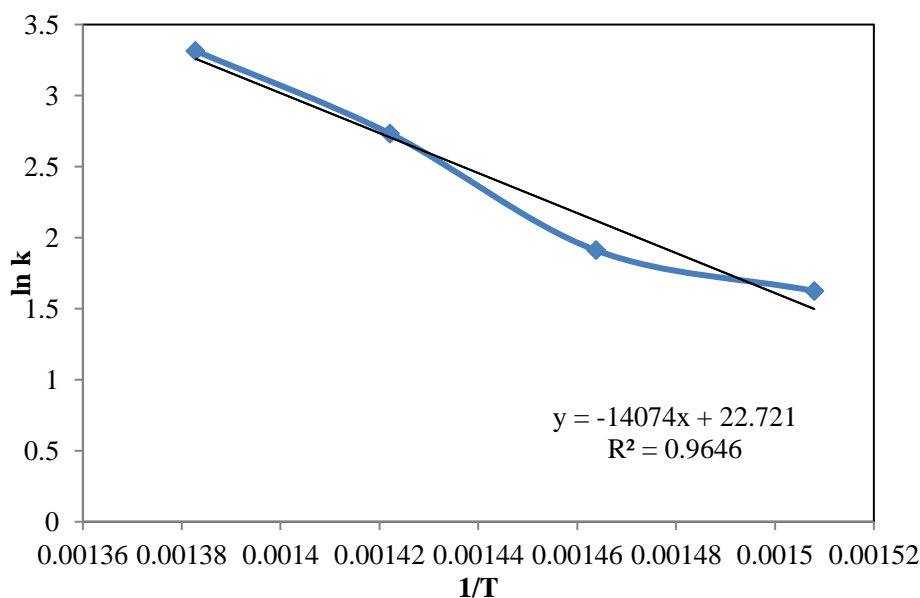
m_t = massa umpan awal (gr)

m_{t0} = massa akhir residu (gr)
 k_t = konstanta laju terhadap waktu

Berdasarkan perhitungan laju solid menuju tar, perhitungan $1/T$, dan perhitungan dapat disajikan data seperti pada Tabel 2. Nilai $1/T$ dan $\ln k$ dapat digambarkan grafik seperti Gambar 6.

Tabel 2. Data $1/T$ vs $\ln K$ Hasil Pirolisis

T (K)	$1/T$	k	$\ln k$
663.15	0.001508	5.07575758	1.62447579
683.15	0.001464	6.75925926	1.910913307
703.15	0.001422	15.3571429	2.731580699
723.15	0.001383	27.5030012	3.314295133



Gambar 6. Grafik Persamaan Arrhenius

Grafik diatas merupakan grafik Persamaan Arrhenius untuk proses pirolisis. Grafik dibuat dengan menggunakan data yang dari hasil pirolisis HDPE sebesar 300 gram dengan variasi temperatur 390°C, 410°C, 430°C, dan 450°C, dari hasil tersebut didapatkan nilai $1/T$ dan $\ln K$ yang ada pada Tabel 2. Berdasarkan grafik diatas didapatkan:

Persamaan garis $y = -14074x + 22,721$ dengan nilai $R^2 = 0,9646$.

Dimana nilai Energi aktivasi bisa didapat dari nilai slope ($1/T$)

$$E_a = - \text{slope} \times R$$

$$E_a = 117,013 \text{ kJ/mol}$$

Menentukan nilai A digunakan logaritma natural dari intercept, dimana intercept itu sendiri adalah nilai $\ln A$, maka:

$$e^{\ln A} = A$$

$$\ln A = 22,721$$

$$e^{22,721} = A$$

$$A = 7,3 \times 10^9$$

Berdasarkan Persamaan yang telah dijabarkan diatas maka diperoleh parameter-parameter nilai dari slope dan intercept sebagai berikut:

Tabel 3. Parameter-parameter dari Persamaan Arrhenius

Slope	Intercept	E_a (kJ/mol)	A (menit ⁻¹)	R^2
-14074.27664	22.72128961	117.013	$7,3 \times 10^9$	0.9646

Berdasarkan Tabel 3, nilai A diperoleh dari intercept dimana intercept adalah $\ln A$ setelah didapatkan nilai $\ln A$

sebesar 22.72128961 maka didapatkan nilai $A = e^{22.721}$ yaitu sebesar $7,3 \times 10^9$ menit⁻¹ dan nilai E_a yang diperoleh dengan menggunakan metode ini yaitu 117.013 kJ/mol, dimana 8.314 J/Kmol adalah konstanta gas universal. Persamaan Arrhenius sendiri merupakan Persamaan yang mengasumsikan nilai E_a adalah energi minimum atau batas yang harus dilampaui agar suatu reaksi dapat terjadi (Menzinger & Wolfgang, 1969). Sehingga nilai konstanta laju reaksi dapat dirumuskan $k_a = 7,3 \times 10^9 \cdot e^{(117.013/R.T)}$ dengan T dalam Kelvin.

Analisis Karakteristik Hasil Pirolisis

Analisis karakteristik hasil pirolisis menggunakan metode flash point, pengujian dilakukan dengan temperatur terendah dimana uap bio oil bumi yang telah bercampur dengan udara akan menyala ketika dikenai uji nyala atau test flame (Efendi dan Palupi, 2013). Pengujian bio oil hasil pirolisis dilakukan di Laboratorium Bahan Bakar dan Pelumas PETROLAB yang sudah terakreditasi oleh KAN. Pengujian biooil hasil pirolisis menggunakan metode ASTM D 93-20 Flash Point PMCC dengan menggunakan sample biooil sebanyak 500 ml.

Berdasarkan hasil pengujian flash point biooil hasil pirolisis didapatkan titik nyala sebesar 40°C. Biooil hasil pirolisis tersebut jika dibandingkan dengan Tabel 3. yang dimana memuat titik nyala berbagai bahan bakar maka titik nyala dari biooil hasil pirolisis masuk kategori bensin, karena titik nyala dari bahan bakar bensin adalah $< 21^\circ\text{C}$.

PENUTUP

Kesimpulan

1. Setiap variabel suhu mengalami peningkatan efisiensi konversi dimana semakin tinggi temperatur maka efisiensi konversi akan meningkat, efisiensi konversi tertinggi berada pada suhu 450°C dengan efisiensi konversi sebesar 59,3% wt dan efisiensi konversi terendah berada pada suhu 390°C yaitu sebesar 51,3 % wt.
2. Nilai konstanta laju reaksi dapat dirumuskan $k_a = 7,3 \times 10^9 \cdot e^{(117.013/R.T)}$ dengan T dalam Kelvin. Dimana nilai E_a yang diperoleh yaitu 117.013 kJ/mol dan nilai A yaitu sebesar $7,3 \times 10^9$ menit⁻¹.
3. Minyak hasil pirolisis didapatkan nilai titik nyala sebesar 4°C dan dikategorikan bahan bakar bensin karena nilai titik nyala dari bensin adalah $< 21^\circ\text{C}$.

Saran

1. Melakukan proses pirolisis dengan bahan berbeda.
2. Melakukan upgrading pada pipa penghubung dan dikarakterisasi hasilnya.
3. Pengujian karakteristik minyak hasil pirolisis harus lebih lengkap agar karakterisasi minyak hasil pirolisis untuk dapat dikategorikan bahan bakar lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad Firdaus, Atmazeal. 2018. Pengaruh Variasi Campuran Bahan Plastik Terhadap Karakteristik Bahan Bakar Hasil Proses Pirolisis Limbah Plastik. Skripsi. Universitas Jember.
- Fatimura, Muhrinsyah. 2020. "Evaluasi Kinerja eaktir Pirolisis Non Katalis Dalam Mengkonversikan Limbah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak". *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia*. 4 (1) : 1-7
- Kurniawan, Eddy dan Nasrun. 2014. "Karakterisasi Bahan Bakar Dari Sampah Plastik Jenis HighDensity Polyethelene (HDPE) Dan Low Density Polyethelene (LDPE)". *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*. 3 (1) : 41-52
- Kusuma Nugraheni, Ika dan Fikli Maulana. 2019. "Pengujian Campuran Bahan Bakar HDPE Dan Premium Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Dan Suhu Mesin Sepeda Motor 110 CC". *Jurnal Elemen*. 6 (1) : 13-19
- Laura Indrayani, Novi. 2014. "Pirolisis Minyak Nyamplung Menggunakan Katalis Karbon Berpori". *Jurnal Teknik Mesin Unisma Bekasi*. : 95-102
- Majedi, Farid, Widya Wijayanti dan Nurkholis Hamidi. 2015. "Parameter Kinetik Char Hasil Pirolisis Serbuk Kayu Mahoni (Switenia Macrophylla) dengan Variasi Heating Rate dan Temperatur". *Jurnal Rekayasa Mesin*. 6 (1) : 1-7
- Mulyadi, Edi. Tanpa Tahun. "Degradasi Sampah Kota (Rubbish) Dengan Proses Pirolisis". *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*. 1 (1) : 1-5
- Nasrun, Eddy Kurniawan, dan Inggit Sari. 2016. "Studi Awal Prosuksi Bahan Bakar Dari Proses Pirolisis Kantong Plastik Bekas". *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*. 5 (1) : 30-44
- Purwanto, Dwi. 2018. "Investigasi Laju Pemanasan Dan Temperatur Proses Pyrolisis Sampah Plastik LDPE Sebagai Bahan Bakar Alternatif Terhadap Produk Pyrolisis". *Simki-Techsain*. 2 (2) : 1-10
- Rachmawati, Qonita. 2015. Pengolahan Sampah Secara Pisrolisis Dengan Variasi. Rasio Komposisi Sampah Dan Jenis Plastik. Tugas Akhir. Institut Teknologi Sepuluh November.
- Ramadhan P., Arpian dan Munawar Ali. 2019. "Pengolahan Sampah Plastik Menjadi Minyak Menggunakan Proses Pirolisis". *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*. 4 (1) : 44-53
- Sadiana, Riri dan Novi Laura Indrayani. 2014. "Model Matematika Kinetika Pada Proses Pirolisis Minyak Nyamplung Dalam Menghasilkan Biofuel". *Jurnal Teknik Mesin Unisma Bekasi*. : 95-102
- Rizky, Muhammad. 2020. Studi Kinetika Dan Produksi Bio-oil Dengan Proses Pirolisis Dari Limbah Cangkang Kelapa Sawit. Tugas Akhir. Universitas Pertamina.

- Santoso, Joko. 2010. Uji Sifat Minyak Pirolisis Dan Uji Performasi Kompor Bahan Bakar Minyak Pirolisis Dari Sampah Plastik. Skripsi. Universitas Sebelas Maret.
- Sumartono. 2019. “Produksi Bahan Bakar Minyak Dari Limbah Plastik Hdpe Dan Pete 1 Kg”. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*. 2 (1) : 94-103
- Surya Dharma, Untung dan Dwi Irawan. Tanpa Tahun. “Analisa Karakteristik Minyak Plastik Hasil Dua Kali Proses Pirolisis”. *TURBO ISSN 2301-6663*. 4 (1) : 7-11
- Wijayanti, Hesti, Desy Ratnasari dan Rahman Hakim. 2020. “Studi Kinetika Pirolisis Sekam Padi untuk Menghasilkan Bio-oil sebagai Energi Alternatif”. *Buletin Profesi Insinyur*. 3(2) : 83-88