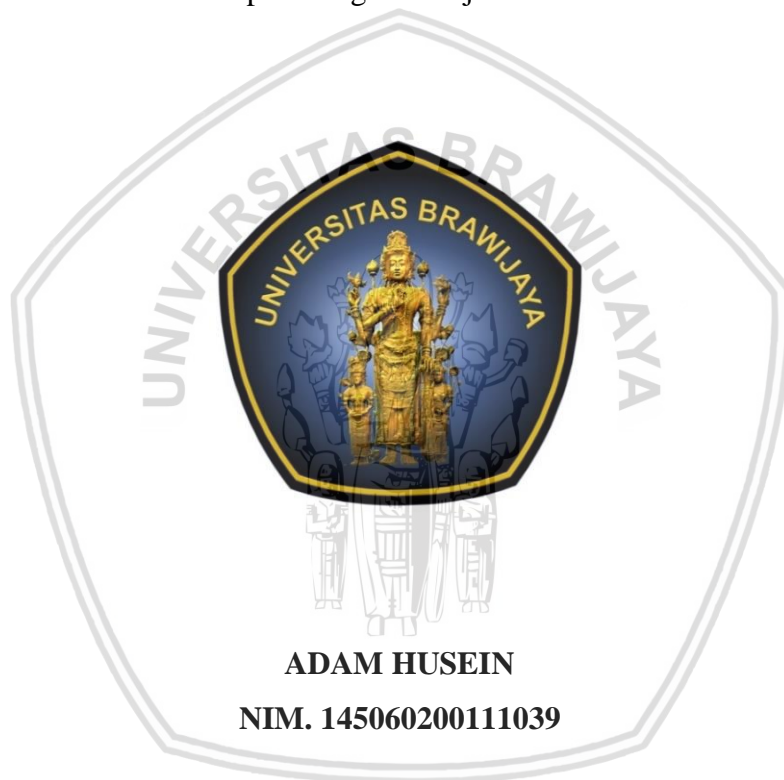


**PENGARUH TEMPERATUR PEMBENTUKAN *FUEL OIL* PADA  
PIROLISIS PLASTIK *LOW DENSITY POLYETHYLENE (LDPE)***

**SKRIPSI**

**TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**ADAM HUSEIN**

**NIM. 145060200111039**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**MALANG**

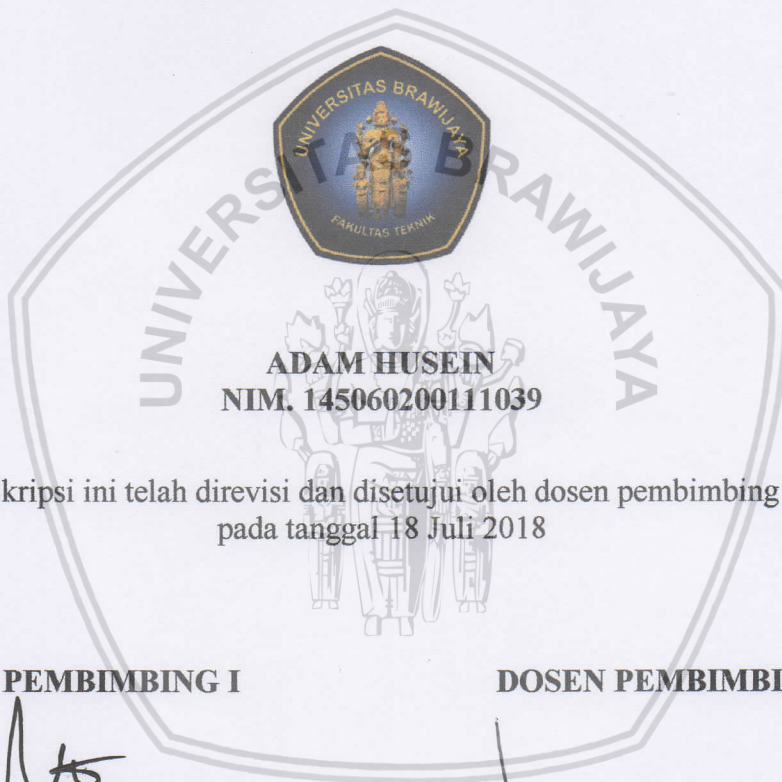
**2018**

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**PENGARUH TEMPERATUR PEMBENTUKAN *FUEL OIL* PADA**  
**PIROLISIS PLASTIK *LOW DENSITY POLYETHYLENE (LDPE)***

**SKRIPSI**

**TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**ADAM HUSEIN**  
**NIM. 145060200111039**

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing  
pada tanggal 18 Juli 2018

**DOSEN PEMBIMBING I**

**DOSEN PEMBIMBING II**

Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.  
NIP 19740930 200012 1 001

Dr. Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M. Eng.  
NIK 19740121 199903 1 001



Mengetahui,  
**KETUA PROGRAM STUDI S1**

Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.  
NIP 19740930 200012 1 001





*Teriring ucapan terima kasih kepada:  
Kedua orang tua dan kakak tercinta  
yang selalu memberi dukungan dan doa.*



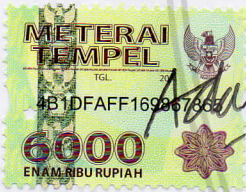
## PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang sepengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas didalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak pernah terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 18 Juli 2018

Mahasiswa,



Adam Husein

NIM. 145060200111039





# TURNITIN



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM SARJANA**



## SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 097/UN10.F07.12.21/PP/2018

Sertifikat ini diberikan kepada :

**ADAM HUSEIN**

Dengan Judul Skripsi :

**PENGARUH TEMPERATUR PEMBENTUKAN FUEL OIL PADA PIROLISIS PLASTIK LOW  
DENSITY POLYETHYLENE (LDPE)**

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi  $\leq 20\%$ , dan  
dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal **16 JUL 2018**

Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin

Ketua Jurusan Teknik Mesin  
**Ir. Djarot B. Darmadi, MT., Ph.D**  
NIP. 19670518 199412 1 001

**Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.**  
NIP. 19740930 200012 1 001





JUDUL SKRIPSI:

PENGARUH TEMPERATUR PEMBENTUKAN *FUEL OIL* PADA PIROLISIS  
PLASTIK *LOW DENSITY POLYETHYLENE* (LDPE)

Nama Mahasiswa : Adam Husein  
NIM : 145060200111039  
Program Studi : Teknik Mesin  
Minat : Teknik Konversi Energi

KOMISI PEMBIMBING

Pembimbing I : Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.  
Pembimbing II : Dr. Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M. Eng.

TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji 1 : Dr. Eng. Lilis Yuliati, ST., MT.  
Dosen Penguji 2 : Winarto, ST., MT., Ph.D  
Dosen Penguji 3 : Fikrul Akbar Alamsyah, ST., MT

Tanggal Ujian : 02 Juli 2018  
SK Penguji : 1312/UN10.F07/SK/2018



## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas berkat rahmat dan hidayah-Nya serta sholawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW, sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Temperatur Pembentukan *Fuel Oil* pada Pirolisis Plastik *Low Density Polyethylene* (LDPE)”. Skripsi ini dibuat untuk memenuhi syarat dalam memperoleh gelar Sarjana Teknik. Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan, akan tetapi diharapkan segala usaha yang telah dilakukan dapat menjadi ilmu yang bermanfaat.

Selama proses penulisan dan penyelesaian skripsi ini, penulis banyak memperoleh bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak. Penulis menyadari sepenuhnya bahwa tanpa bantuan dan dukungan yang didapat tidak mungkin skripsi ini dapat terselesaikan. Untuk itu penulis dengan tulus hati ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Ir. Djarot B. Darmadi, MT., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang telah memberikan banyak bantuan dalam penyelesaian skripsi ini.
2. Bapak Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT. selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya dan juga selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan banyak bantuan, bimbingan, serta ilmu dalam penyelesaian skripsi ini.
3. Ibu Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., MT. selaku Ketua Kelompok Dosen Keahlian Teknik Konversi Energi yang telah memberikan banyak bimbingan, bantuan, serta ilmu dalam penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Dr. Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M. Eng. selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan banyak bimbingan, bantuan, serta ilmu dalam penyusunan skripsi ini.
5. Ibu Dr. Femiana Gapsari Madhi Fitri, ST., MT. selaku Dosen Penasihat Akademik yang telah memberikan banyak bimbingan, bantuan, serta ilmu dalam penyusunan skripsi ini.
6. Staf dari Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang telah melancarkan proses dari skripsi ini.
7. Kedua orang tua dan kakak dari penulis yang telah memberikan dukungan, bantuan, serta doa yang tak terhingga sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini.
8. Teman-teman M'14 yang namanya tidak bisa disebutkan satu persatu yang telah memberikan dukungan dan bantuannya selama penyelesaian skripsi ini.

9. Teman-teman domisili Jadetabek yaitu, Komeng, Jipau, Zalbie, Farhan, Fraghian, Mea, Putri, Raka, Ray, Padang, Sendi, Ira, dan Usman yang setia menemani disaat susah dan senang.
10. Teman kontrakan Syahrul Rozi Haqiqi serta temannya Ajeng Amalia Rischa yang telah memberikan bantuan dan semangat dalam penyelesaian skripsi ini.
11. Rekan-rekan Laboratorium Metrologi Industri FT-UB yaitu Samid, Agil, Vinda, Mba Nella, Taqy, Fadhil, Ravi, dan Zafira yang telah memberikan dukungan dalam penyelesaian skripsi ini.
12. Teman kelompok skripsi yaitu Ray dan Eka yang telah berjuang bersama dan memberikan saran serta ilmu untuk penulis dalam penyelesaian skripsi ini.
13. Seluruh Asisten dan Laboran Laboratorium Motor Bakar yang telah banyak memberikan bantuan dalam menyusun skripsi ini.
14. Berbagai pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini, yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu.

Akhir kata, semoga amal, bantuan, bimbingan dan doa yang telah diberikan kepada penulis mendapat balasan dari Allah SWT. Penulis menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, saran dan kritik yang bersifat membangun sangat di harapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap semoga skripsi ini bermanfaat bagi kita semua. Aamin.

Malang, Juli 2018

Penulis



## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN.....</b>	<b>viii</b>
<b>RINGKASAN.....</b>	<b>ix</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>x</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Penelitian Sebelumnya .....	5
2.2 Polimer .....	6
2.3 Plastik LDPE ( <i>Low Density Polyethylene</i> ).....	9
2.4 Pirolisis.....	10
2.5 Bio-oil Pirolisis.....	12
2.6 Pembentukan <i>Fuel Oil</i> .....	13
2.7 Sifat Fisik Bahan Bakar.....	15
2.7.1 Massa Jenis.....	15
2.7.2 Viskositas .....	16
2.7.3 Titik Nyala Api.....	16
2.7.4 Nilai Kalor.....	16
2.8 <i>Thermal Cracking</i> .....	17
2.9 Pengaruh Temperatur Terhadap Hasil Pirolisis Plastik.....	20
2.10 Hipotesis .....	21
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>	<b>23</b>
3.1 Metode Penelitian.....	23
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian .....	23
3.3 Variabel Penelitian .....	23
3.4 Alat dan Bahan Penelitian .....	24
3.4.1 Alat yang Digunakan.....	24
3.4.2 Bahan yang Digunakan .....	27
3.5 Prosedur Penelitian.....	27
3.6 Diagram Alir Penelitian.....	29



<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>31</b>
4.1 Analisis <i>Heating Rate</i> pada Proses Pirolisis.....	31
4.1.1 Analisis <i>Heating Rate</i> pada Proses Pirolisis Temperatur 200°C.....	31
4.1.2 Analisis <i>Heating Rate</i> pada Proses Pirolisis Temperatur 250°C.....	32
4.1.3 Analisis <i>Heating Rate</i> pada Proses Pirolisis Temperatur 300°C.....	33
4.1.4 Analisis <i>Heating Rate</i> pada Proses Pirolisis Temperatur 350°C.....	34
4.1.5 Analisis <i>Heating Rate</i> pada Proses Pirolisis Temperatur 400°C.....	35
4.2 Hubungan Temperatur Pirolisis Terhadap Massa dan Volume Minyak Hasil Pirolisis.....	36
4.3 Hubungan Temperatur Pirolisis Terhadap Massa Jenis Minyak Hasil Pirolisis ....	37
4.4 Hubungan Temperatur Pirolisis Terhadap Viskositas Minyak Hasil Pirolisis .....	38
4.5 Hubungan Temperatur Pirolisis Terhadap <i>Flash Point</i> Minyak Hasil Pirolisis.....	39
4.6 Hubungan Temperatur Pirolisis Terhadap Nilai Kalor Minyak Hasil Pirolisis .....	40
4.7 Analisis Perbandingan Sifat Fisik Minyak Hasil Pirolisis dengan Sifat Fisik <i>Gasoline</i> , Kerosen, dan Diesel .....	41
4.8 Analisis Massa Jenis Minyak Hasil Pirolisis dengan <i>Gasoline</i> , Kerosen, dan Diesel.....	42
4.9 Analisis Viskositas Minyak Hasil Pirolisis dengan <i>Gasoline</i> , Kerosen, dan Diesel.....	43
4.10 Analisis <i>Flash Point</i> Minyak Hasil Pirolisis dengan <i>Gasoline</i> , Kerosen, dan Diesel.....	44
4.11 Analisis Nilai Kalor Minyak Hasil Pirolisis dengan <i>Gasoline</i> , Kerosen, dan Diesel.....	44
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>47</b>
5.1 Kesimpulan.....	47
5.2 Saran.....	47

DAFTAR PUSTAKA  
LAMPIRAN



**DAFTAR TABEL**

No.	Judul	Halaman
Tabel 1.1	Perkiraan Prosentase Sampah dari Tahun 1981 sampai 2002.....	1
Tabel 2.1	Jenis Plastik Berdasarkan Kode dan Contoh Penggunaannya .....	8
Tabel 2.2	Tipikal Parameter Operasi dan Produk Hasil dari Proses Pirolisis.....	11
Tabel 2.3	Sifat Fisik Bahan Bakar Minyak Komersial .....	15





## DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Pengaruh Suhu dan Waktu terhadap Minyak yang Dihasilkan .....	5
Gambar 2.2	Polimerisasi Etilen Menjadi Polietilen .....	9
Gambar 2.3	Struktur Umum Low Density Polyethylene .....	9
Gambar 2.4	Reaksi Pirolisis .....	10
Gambar 2.5	Proses Dekomposisi Molekul Hidrokarbon selama Proses Pirolisis .....	11
Gambar 2.6	Distilasi Fraksional Minyak Mentah .....	14
Gambar 2.7	Proses <i>Initiation</i> .....	17
Gambar 2.8	Proses <i>Propagation</i> .....	18
Gambar 2.9	Proses <i>Termination</i> .....	18
Gambar 2.10	Pengaruh Reaksi Temperatur pada Komposisi Produk Thermal Cracking PE .....	19
Gambar 2.11	Pengaruh Reaksi Waktu pada Komposisi Produk Thermal Cracking PE pada Temperatur 420°C.....	19
Gambar 2.12	Komposisi Produk Gas Dari Degradasi Thermal Plastik LDPE pada Temperatur yang Berbeda .....	20
Gambar 3.1	Instalasi Alat Pirolisis .....	24
Gambar 3.2	Timbangan Elektrik .....	25
Gambar 3.3	Flash Point Tester .....	26
Gambar 3.4	Bomb Calorimeter .....	26
Gambar 3.5	<i>Viscometer</i> .....	27
Gambar 4.1	Grafik Heating Rate pada Proses Pirolisis Temperatur 200°C .....	31
Gambar 4.2	Grafik Heating Rate pada Proses Pirolisis Temperatur 250°C .....	32
Gambar 4.3	Grafik <i>Heating Rate</i> pada Proses Pirolisis Temperatur 300°C .....	33
Gambar 4.4	Grafik <i>Heating Rate</i> pada Proses Pirolisis Temperatur 350°C .....	34
Gambar 4.5	Grafik <i>Heating Rate</i> pada Proses Pirolisis Temperatur 400°C .....	35
Gambar 4.6	Grafik Pengaruh Temperatur Pirolisis terhadap Massa Minyak Hasil Pirolisis.....	36
Gambar 4.7	Grafik Pengaruh Temperatur Pirolisis terhadap Volume Minyak Hasil Pirolisis.....	37
Gambar 4.8	Grafik Pengaruh Temperatur Pirolisis terhadap Massa Jenis Minyak Hasil Pirolisis.....	37
Gambar 4.9	Grafik Pengaruh Temperatur Pirolisis terhadap Viskositas Minyak Hasil Pirolisis.....	38
Gambar 4.10	Grafik Pengaruh Temperatur Pirolisis terhadap <i>Flash Point</i> Minyak Hasil Pirolisis.....	39
Gambar 4.11	Grafik Pengaruh Temperatur Pirolisis terhadap Nilai Kalor Minyak Hasil Pirolisis.....	40
Gambar 4.12	Minyak Hasil Pirolisis plastik LDPE.....	41
Gambar 4.13	Grafik Perbandingan Massa Jenis Minyak Hasil Pirolisis dengan BBM Komersial .....	42



Gambar 4.14 Grafik Perbandingan Viskositas Minyak Hasil Pirolisis dengan BBM  
Komersial ..... 43

Gambar 4.15 Grafik Perbandingan *Flash Point* Minyak Hasil Pirolisis dengan BBM  
Komersial ..... 44

Gambar 4.16 Grafik Perbandingan Nilai Kalor Minyak Hasil Pirolisis dengan BBM  
Komersial ..... 44



## DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1.	Minyak Hasil Pirolisis
Lampiran 2.	Wax Hasil Pirolisis
Lampiran 3.	Data Temperatur Selama Proses Pirolisis





## RINGKASAN

**Adam Husein**, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juni 2018, Pengaruh Temperatur Pembentukan *Fuel Oil* pada Proses Pirolisis Plastik *Low Density Polyethylene* (LDPE). Dosen Pembimbing: Mega Nur Sasongko, Nurkholis Hamidi.

Plastik merupakan bahan yang sangat sering dipakai di kehidupan sehari-hari. Penggunaannya yang banyak mengakibatkan meningkatnya sampah plastik di dunia. Dikarenakan plastik merupakan bahan yang sangat sulit terurai, maka sampah plastik semakin meningkat dari tahun ke tahun. Salah satu sampah plastik yang sering ditemui adalah plastik berjenis *Low Density Polyethylene* (LDPE) atau yang biasa digunakan sebagai kantong plastik kresek atau plastik pembungkus. Untuk mengurangi pencemaran lingkungan karena sampah plastik tersebut dapat dilakukan daur ulang plastik menjadi bahan bakar minyak dengan proses pirolisis.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana pengaruh temperatur pembentukan fuel oil pada minyak yang dihasilkan oleh proses pirolisis dan dibandingkan sifat fisiknya dengan bahan bakar minyak komersial seperti bensin, kerosen, dan diesel. Dalam penelitian ini terdapat variasi temperatur pirolisis yaitu sebesar 200°C, 250°C, 300°C, 350°C, dan 400°C dengan bahan yang digunakan yaitu plastik LDPE sebanyak 250 gram. Proses pirolisis berlangsung selama 2 jam.

Hasil pirolisis menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur pirolisis maka minyak yang dihasilkan semakin banyak. Perbedaan temperatur pirolisis juga mempengaruhi sifat fisik minyak hasil pirolisis tersebut.

**Kata Kunci:** *Fuel Oil*, LDPE, Pirolisis, Plastik, Sifat Fisik

## SUMMARY

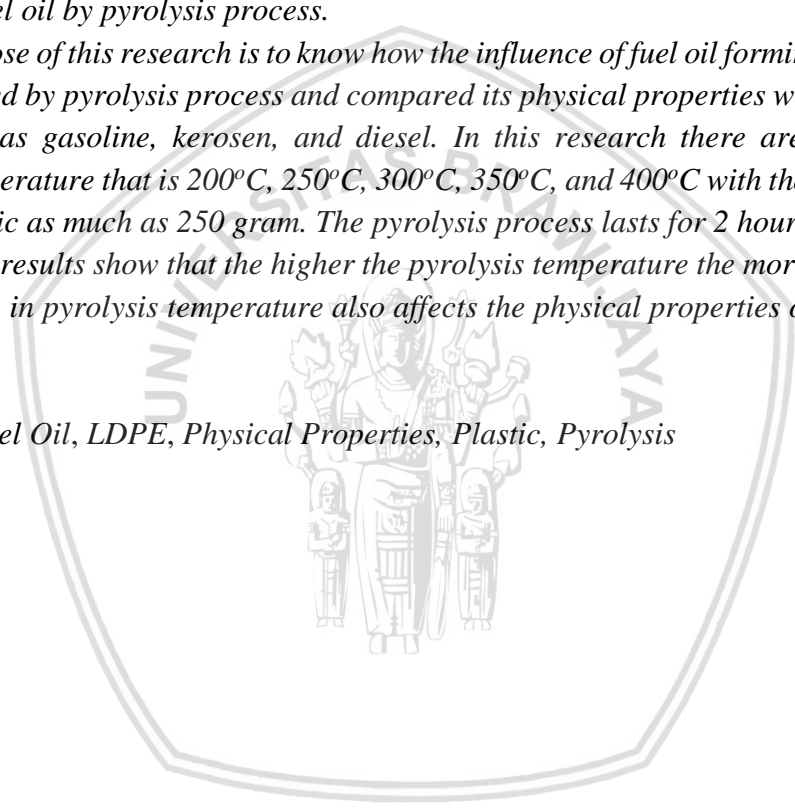
**Adam Husein**, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering Brawijaya University, June 2018, *The Effect of Formation Oil Temperature on Low Density Polyethylene Pyrolysis*. Academic Supervisor: Mega Nur Sasongko, Nurkholis Hamidi.

*Plastic is a material that is very often used in daily life. Its excessive use leads to increase plastic waste in the world. Because plastic is a very difficult material to decompose, plastic waste is increasing from year to year. One of the plastic waste that is often encountered is Low Density Polyethylene (LDPE) plastic or commonly used as a plastic bag or crackle plastic wrap. To reduce environmental pollution due to plastic waste, it can be recycled to fuel oil by pyrolysis process.*

*The purpose of this research is to know how the influence of fuel oil forming temperature on oil produced by pyrolysis process and compared its physical properties with commercial oil fuel such as gasoline, kerosen, and diesel. In this research there are variations of pyrolysis temperature that is 200°C, 250°C, 300°C, 350°C, and 400°C with the material used is LDPE plastic as much as 250 gram. The pyrolysis process lasts for 2 hours.*

*Pyrolysis results show that the higher the pyrolysis temperature the more oil produced. The difference in pyrolysis temperature also affects the physical properties of the pyrolysis oil.*

**Keywords:** Fuel Oil, LDPE, Physical Properties, Plastic, Pyrolysis



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Plastik merupakan bahan yang sering kita gunakan di kehidupan sehari-hari. Kantong plastik adalah salah satu contoh produk plastik yang paling sering digunakan. Indonesia sendiri merupakan salah satu negara yang menggunakan kantong plastik terbanyak. Hampir di setiap tempat perbelanjaan menggunakan kantong plastik sebagai pembungkus barang yang dibeli oleh konsumen. Setelah barang yang dibeli tersebut sudah digunakan, tak banyak orang yang mengumpulkan kantong plastik tersebut dan menggunakannya kembali. Maka dari itu kantong plastik tersebut hanya akan menjadi sampah. Karena banyaknya konsumsi kantong plastik di Indonesia, maka Indonesia merupakan negara penghasil sampah plastik terbanyak kedua di dunia setelah china yang menduduki peringkat pertama. Berdasarkan data yang dikumpulkan oleh Jambeck (2015), sekitar 187,2 juta ton sampah plastik di Indonesia terbuang begitu saja ke laut.

Tabel 1.1

Perkiraan Prosentase Sampah dari Tahun 1981 sampai 2002

Komponen	Unit	Tahun									
		1981	1983	1985	1989	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Organik	%	79.49	77.9	73.97	79.37	74.6	75.38	75.18	74.99	74.60	74.22
Kertas	%	7.97	6.7	8.28	8.57	10.18	10.50	10.71	10.93	11.15	11.37
Kayu	%	3.65	2.97	3.94	0.75	0.98	0.39	0.20	0.02	0.02	0.02
Tekstil	%	2.4	1.98	3.05	0.79	1.57	1.20	1.13	1.06	1.00	0.93
Karet	%	0.47	0.94	0.52	0.33	0.55	0.41	0.39	0.37	0.35	0.33
Plastik	%	3.67	5.13	5.64	6.51	7.86	8.11	8.30	8.50	8.69	8.88
Logam	%	1.37	1.93	2.04	1.45	2.04	1.89	1.89	1.90	1.90	1.90
Gelas	%	0.5	0.65	1.55	1.57	1.75	1.93	1.99	2.05	2.10	2.16
Batere	%	0.48	1.8	0.97	0.48	0.29	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Lain-lain	%				0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
Jumlah	%	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Sumber: Sahwan (2005)

Berdasarkan Tabel 1.1 dapat kita lihat bahwa sampah plastik dari tahun ke tahun semakin meningkat. Dengan terus bertambahnya konsumsi plastik di Indonesia, Dirjen Pengelola Sampah, Limbah, dan B3 LHK memperkirakan bahwa total sampah plastik di



Indonesia akan mencapai 9,52 juta ton pada tahun 2019. Banyaknya sampah plastik yang terbangun tersebut merupakan hal yang memprihatinkan ditambah lagi plastik merupakan bahan yang sangat sulit terurai. Oleh karena bahan yang sulit terurai di alam maka sampah plastik tersebut sangat berpotensi untuk merusak lingkungan apabila sampah tersebut dibiarkan begitu saja.

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 Poly Ethylene* (LDPE). LDPE adalah plastik yang terbuat dari minyak bumi dan merupakan jenis plastik yang sulit dihancurkan tetapi dapat didaur ulang (Sofiana, 2010). 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 (Prasetyo, 2015). Dengan mendaur ulang sampah plastik menjadi bahan bakar alternatif diharapkan dapat mengurangi polusi lingkungan akibat banyaknya sampah plastik yang sulit terurai serta mengatasi permasalahan ketergantungan bahan bakar fosil yang menyebabkan semakin berkurangnya pasokan bahan bakar di Indonesia.

Untuk mengkonversikan plastik menjadi bahan bakar alternatif, biasa digunakan dengan proses pirolisis yaitu dengan cara memecah molekul hidrokarbon yang kompleks pada sampah plastik menjadi molekul yang lebih sederhana. Hasil utama dari proses pirolisis itu sendiri ada 3 yaitu produk cair, padat, dan gas. Berdasarkan penelitian Aprian dkk (2011), sampah plastik dapat didaur ulang menjadi bahan bakar cair dengan menggunakan metode pirolisis. Berdasarkan pengujian, sampah plastik yang dipirolisis pada temperatur 400°C dengan waktu 60 menit menghasilkan minyak terbanyak selama proses yang dilakukan pada rentang temperatur 200-420°C dan memiliki karakteristik hampir sama dengan minyak diesel. Oleh karena sampah plastik dapat bermanfaat sebagai bahan bakar alternatif, maka penulis akan meneliti mengenai proses pirolisis pada sampah plastik berjenis LDPE untuk mendapatkan kualitas dan kuantitas bahan bakar minyak berdasarkan pengaruh temperatur pembentukan *fuel oil*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, dirumuskan sebuah permasalahan yaitu bagaimana pengaruh variasi temperatur pembentukan *fuel oil* terhadap kualitas dan kuantitas minyak hasil proses pirolisis sampah plastik LDPE.

## 1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah maka penulis memberikan beberapa batasan masalah, yaitu:

1. Plastik yang digunakan adalah plastik jenis LDPE
2. Produk pirolisis yang dianalisa hanya produk cair
3. Temperatur pembentukan *fuel oil* terbatas pada temperatur pembentukan bensin, kerosene, dan solar
4. Tipe pirolisis yang digunakan adalah pirolisis *fixed-bed*
5. Pada saat pengujian dianggap tidak ada kebocoran pada *pyrolyzer*
6. Sifat fisik bahan bakar yang diuji adalah densitas, viskositas, *flash point*, dan nilai kalor

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur pembentukan *fuel oil* terhadap kuantitas dan sifat fisik dari minyak sampah plastik LDPE hasil pirolisis.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini antara lain:

1. Dapat digunakan sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya mengenai pengolahan sampah plastik dengan proses pirolisis.
2. Sebagai solusi bahan bakar alternatif dan mengurangi pencemaran lingkungan akibat sampah plastik yang sulit terurai.
3. Diharapkan dapat menjadi data pembanding untuk penelitian pirolisis lainnya.
4. Bisa menjadi pengetahuan kepada masyarakat mengenai pengaruh variasi temperatur pembentukan *fuel oil* terhadap hasil minyak sampah plastik LDPE dengan menggunakan metode pirolisis.

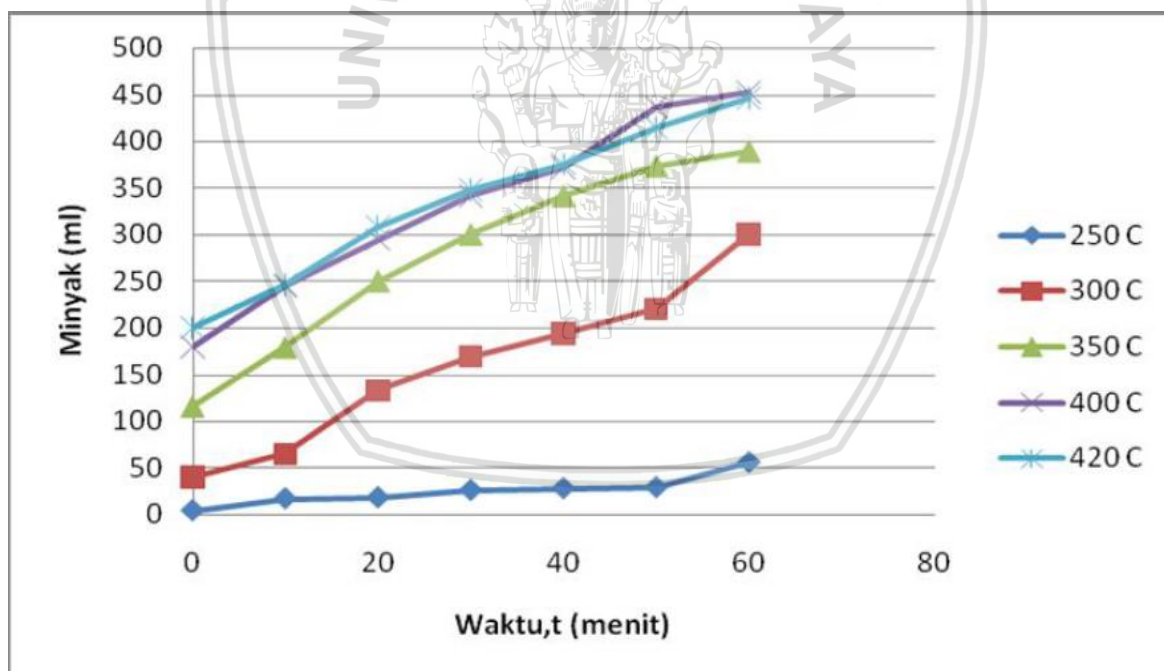


## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Aprian *et al.*, (2011) melakukan penelitian mengenai pengolahan sampah plastik berjenis plastik HDPE menjadi minyak menggunakan proses pirolisis. Dalam penelitian tersebut, proses pirolisis dilangsungkan pada temperatur 250-420°C selama 0-60 menit. Dari penelitian tersebut dapat dilihat bahwa proses pirolisis pada sampah plastik HDPE menghasilkan minyak yang cukup signifikan. Hasil minyak terbanyak terjadi pada temperatur 400°C dengan waktu operasi 60 menit sebanyak 453 ml. Minyak hasil pirolisis tersebut memiliki karakteristik yang hampir sama dengan karakteristik minyak diesel. Dari hasil penelitian juga didapatkan kesimpulan bahwa semakin tinggi temperatur dan semakin lama waktu pemanasan akan menghasilkan minyak yang semakin banyak juga.



Gambar 2.1 Pengaruh Suhu dan Waktu terhadap Minyak yang Dihasilkan

Sumber: Aprian *et al.*, (2011)

Mustofa *et al.*, (2014) melakukan penelitian mengenai pirolisis sampah plastik hingga suhu 900°C sebagai upaya menghasilkan bahan bakar ramah lingkungan. Pada penelitian tersebut, sampah plastik akan dipanaskan hingga suhu 900°C lalu hasil minyak dari proses



pirolisis akan diuji lalu dianalisa nilai kalornya dan komposisi kimia dari hasil minyaknya dengan menggunakan pengujian Gas Chromatografi (GC). Dari pengujian tersebut dapat diketahui bahwa pengolahan sampah plastik dengan proses pirolisis hingga 900°C menghasilkan bahan bakar cair dengan nilai kalor 46.848 J/g. Nilai kalor tersebut lebih tinggi daripada standar nilai kalor bahan bakar yang dapat dipasarkan di dalam negeri yaitu 41.870 J/g, sehingga hasil minyak dari proses pirolisis tersebut memenuhi standar nilai kalor bahan bakar yang dipasarkan di dalam negeri. Hasil pengujian GCMS pada bahan bakar yang dihasilkan menunjukkan bahwa kadar senyawa yang mudah terbakar bertambah tetapi kadar senyawa yang berpotensi bersifat karsinogenik berkurang persentasenya sehingga proses pirolisis untuk mengolah sampah plastik pada temperatur 900°C dapat dikatakan aman.

Rachmawati (2015) melakukan penelitian pirolisis sampah plastik HDPE (*High Density Polyethylene*), PET (*Poly Ethylene Terephthalate*), dan PS (*Poly Styrene*) dengan temperatur yang digunakan pada reaktor sebesar 500°C selama 30 menit dan berat sampah yang digunakan sebesar 500 g. Penelitian pirolisis tersebut menghasilkan *wax* sebesar 69,91% pada plastik HDPE; 36,42% pada plastik PET; dan 52,27% pada plastik PS. Nilai *wax* yang tinggi tersebut sangat baik karena hasil pirolisis tersebut berarti dapat diolah menjadi bahan bakar alternatif.

## 2.2 Polimer

Kata polimer berasal dari Bahasa Yunani yaitu *poly*, yang berarti banyak, dan *meros*, yang berarti bagian. Polimer itu sendiri adalah suatu zat yang terdiri dari molekul pengulangan berantai panjang dan memiliki massa yang besar. Polimer terbentuk dari seratus atau seribu unit molekul yang kecil atau dapat disebut monomer yang berikatan dalam suatu rantai. Monomer penyusun polimer dapat terdiri dari satu jenis ataupun berbeda jenis, maka dari itu sifat polimer berbeda-beda tergantung dari monomer-monomer penyusunnya. Istilah yang digunakan untuk menyebut reaksi pembentukan polimer adalah polimerisasi. Polimer dalam bentuk jadi juga biasa disebut dengan plastik.

Plastik secara garis besar dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu plastik bersifat termoplastik dan plastik bersifat termoset (Hermono, 2009). Termoplastik adalah jenis plastik yang dapat didaur ulang atau dicetak lagi dengan proses pemanasan ulang. Contoh dari termoplastik antara lain, yaitu polietilen (PE), polistiren (PS), ABS, dan polikarbonat (PC). Plastik bersifat termoplastik merupakan plastik yang paling banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Sedangkan plastik termoset adalah plastik yang tidak dapat didaur ulang kembali, pemanasan yang diberikan kepada plastik ini hanya akan merusak molekul-








molekulnya. Contohnya yaitu: resin epoksi, bakelit, dan resin melamin. Plastik jenis thermoset ini tidak banyak digunakan dalam proses daur ulang karena penanganannya yang sulit dan volumenya jauh lebih sedikit (sekitar 10%) dari volume plastik yang bersifat termoplastik (Moavenzadeh dan Taylor, 1995).

Berdasarkan penggunaannya, plastik dapat dibagi menjadi dua, yaitu plastik komoditi dan plastik teknik. Plastik komoditi merupakan plastik yang memiliki volume tinggi dan harga yang murah. Plastik jenis ini biasa digunakan sebagai lapisan pengemas karena sifatnya yang ringan, kuat, dan transparan. Contoh dari plastik komoditi diantaranya yaitu, polietilen (PE), polipropilen (PP), polistiren (PS), dan *polyvinyl chloride* (PVC). Sedangkan plastik teknik merupakan plastik yang volumenya lebih rendah, harganya mahal, tetapi memiliki sifat mekanik yang unggul dan daya tahan yang lebih baik. Plastik jenis ini biasa bersaing dengan logam, keramik, dan gelas dalam berbagai aplikasi, contohnya yaitu polikarbonat dan nilon (Rosato, 2004).

Terdapat kode yang berbeda-beda untuk setiap bahan dari plastik. Kode tersebut menunjukkan simbol yang umum digunakan untuk setiap jenis produk plastik, singkatan nama polimer tiap plastik, dan beberapa penggunaan umum untuk setiap jenis plastik. Penjelasan mengenai macam-macam plastik berdasarkan kodenya dapat dilihat pada Tabel 2.1 di bawah ini.



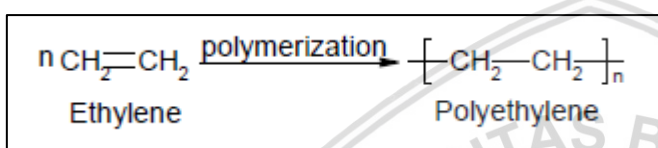
Tabel 2.1  
Jenis Plastik Berdasarkan Kode dan Contoh Penggunaannya

Nomor Kode	Jenis Plastik	Sifat Umum	Kegunaan
	PET ( <i>Polyethylene terephthalate</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jernih dan transparan</li> <li>• Kuat dan tahan pelarut</li> <li>• Kedap gas dan air</li> <li>• Melunak pada suhu 80°C</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biasa digunakan untuk botol minuman, minyak goreng, kecap, sambal, obat</li> </ul>
	HDPE ( <i>High Density Polyethylene</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keras hingga semifleksibel</li> <li>• Tahan terhadap bahan kimia dan kelembaban</li> <li>• Dapat ditembus gas</li> <li>• Permukaan berkilin dan buram</li> <li>• Melunak pada suhu 75°C</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biasanya digunakan untuk botol susu cair, jus, minuman, wadah es krim, tutup plastik</li> </ul>
	PVC ( <i>Polyvinyl chloride</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sulit didaur ulang</li> <li>• Bersifat lebih tahan terhadap senyawa kimia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Digunakan untuk botol kecap, baki, plastik pembungkus</li> </ul>
	LDPE ( <i>Low Density Polyethylene</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mudah diproses</li> <li>• Kuat, fleksibel, kedap air, dan tembus cahaya</li> <li>• Melunak pada suhu 70°C</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Digunakan untuk botol madu, kantong kresek, plastik tipis</li> </ul>
	PP ( <i>Polypropylene</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transparan tetapi tidak jernih</li> <li>• Keras dan kuat tetapi tidak fleksibel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Untuk kemasan pangan, tempat obat, botol susu, sedotan</li> </ul>
	PS ( <i>Polystyrene</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Terdapat 2 macam PS, yaitu yang kaku dan yang lunak/<i>foam</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biasa digunakan sebagai wadah CD, karton wadah telur, kemasan <i>styrofoam</i></li> </ul>
	Other (Digunakan untuk jenis plastik selain pada nomor 1-6 <i>Polycarbonat, bio-based plastic, campuran plastik</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keras dan jernih</li> <li>• Secara termal lebih stabil</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Digunakan untuk galon air minum, peralatan makan bayi</li> </ul>

Sumber: Rajagukguk (2017)

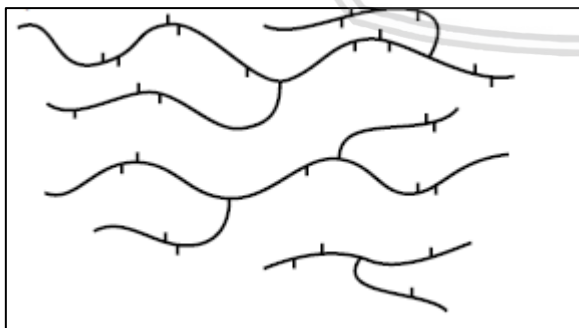
### 2.3 Plastik LDPE (*Low Density Polyethylene*)

Plastik LDPE merupakan plastik bersifat termoplastik dan dibuat dari minyak bumi. Plastik ini biasa dipakai untuk plastik kemasan, tempat makanan, dan yang paling umum digunakan yaitu sebagai kantong kresek. Sifat mekanis plastik jenis LDPE ini adalah kuat, tembus pandang, fleksibel dan permukaan agak berlemak, daya proteksi terhadap uap air tergolong baik, dapat didaur ulang serta baik untuk barang yang membutuhkan fleksibilitas tetapi tetap kuat. Plastik LDPE diproduksi dengan polimerisasi etilen bertekanan tinggi dan menggunakan oksigen sebagai inisiator. Plastik LDPE meleleh pada suhu 110-125°C dan massa jenisnya plastik LDPE sekitar 0,91-0,92 g/cc (Gowariker, 1986).



Gambar 2.2 Polimerisasi Etilen Menjadi Polietilen  
Sumber: Peacock (2006)

Polietilena dengan kerapatan rendah memiliki struktur umum yang ditunjukkan pada Gambar 2.3. Molekulnya mengandung banyak rantai pendek dan panjang. Cabang-cabang pendek terutama terdiri dari cabang-cabang etil dan butil, yang sering terletak di dekat satu sama lain. Itu biasanya disebut sebagai LDPE. Polietilen densitas rendah adalah polidispersi dalam hal berat molekulnya, panjang rantai panjang dan penempatan rantai panjang dan percabangan rantai pendek.

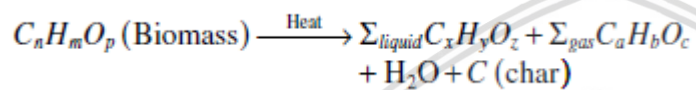


Gambar 2.3 Struktur Umum *Low Density Polyethylene*  
Sumber: Peacock (2006)



## 2.4 Pirolisis

Pirolisis adalah dekomposisi termokimia dari suatu zat menjadi produk yang lebih bermanfaat, dengan tanpa adanya oksigen sebagai oksidator tetap. Pirolisis merupakan proses pemecahan molekul hidrokarbon yang besar dan kompleks menjadi molekul yang relatif lebih kecil dan sederhana dalam bentuk gas, char, dan cairan/*liquid* dengan menggunakan gas inert berupa nitrogen sebagai oksidator. Proses pirolisis biasanya dilakukan pada temperatur yang relatif lebih rendah dibandingkan gasifikasi, yaitu sekitar 300°C sampai 650°C (Basu, 2010). Pirolisis dapat digambarkan dengan reaksi sebagai berikut.

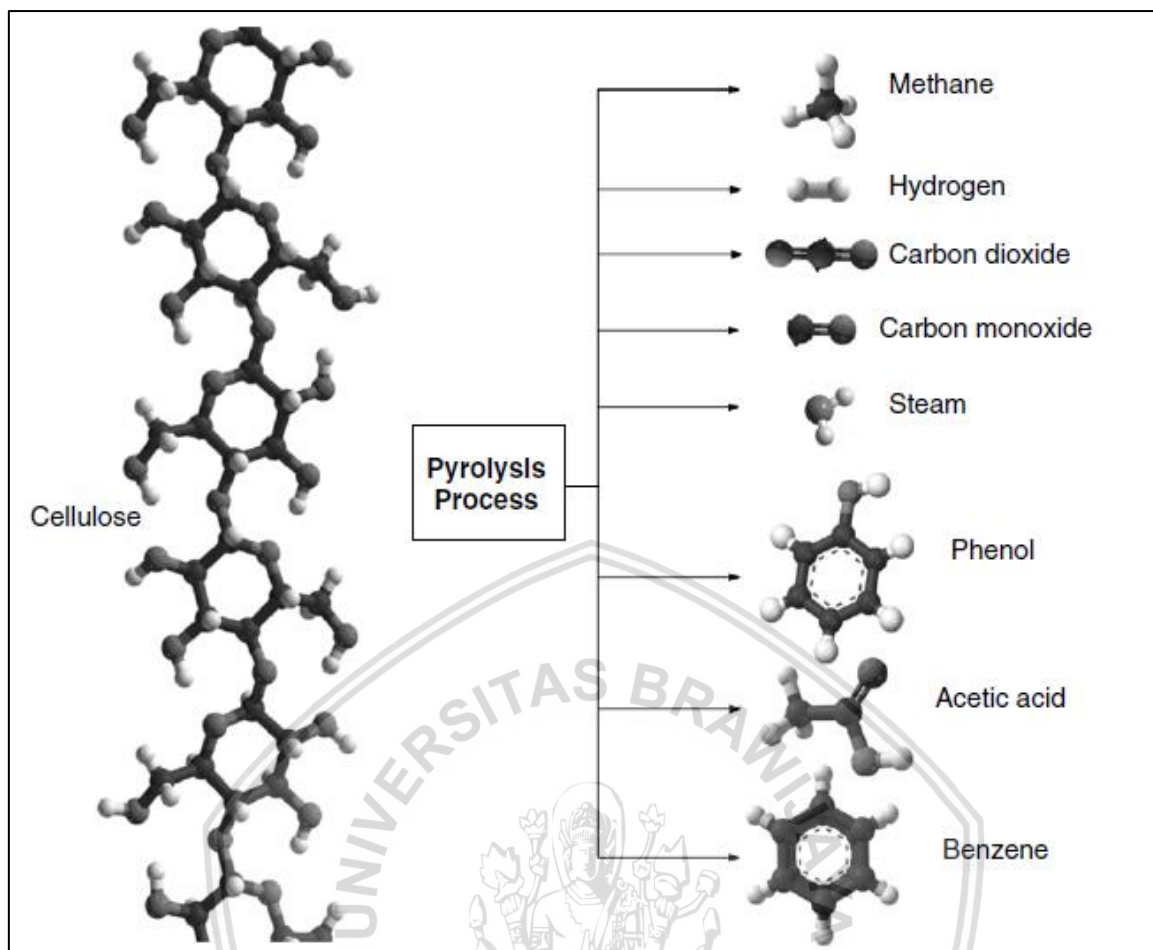


Gambar 2.4 Reaksi Pirolisis  
Sumber: Basu (2010)

Dalam proses pirolisis, rantai panjang dari senyawa karbon, hidrogen, dan oksigen pada biomassa memecah menjadi molekul yang lebih kecil dalam 3 bentuk utama yaitu:

- Padat/Solid (kebanyakan *char* atau karbon)
- Cairan/*Liquid* (bio-oil, *tar*, hidrokarbon yang lebih berat, dan air)
- Gas (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CO, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>, dll)

Tingkat dekomposisi dari komponen-komponen tersebut tergantung pada parameter proses pirolisis yaitu, temperatur, biomassa, laju pemanasan, tekanan, konfigurasi reaktor, bahan baku, dan lain-lain (Jahirul, 2012).



Gambar 2.5 Proses Dekomposisi Molekul Hidrokarbon selama Proses Pirolisis  
Sumber: Basu (2010)

#### 2.4.1 Klasifikasi Pirolisis

Pirolisis dapat diklasifikasikan menjadi 3 kategori utama berdasarkan kondisi operasinya, yaitu:

##### 1. *Slow pyrolysis*

*Slow pyrolysis* merupakan proses pirolisis konvensional yang sangat sering digunakan untuk menghasilkan *char* dengan hanya menggunakan temperatur rendah dan laju pemanasan yang lambat. Namun, *slow pyrolysis* mempunyai keterbatasan teknologi yang membuat proses pirolisis ini tidak tepat untuk menghasilkan bio-oil yang berkualitas baik. Pemecahan atau *cracking* pada proses *slow pyrolysis* terjadi dalam waktu yang lama sehingga dapat berdampak pada kualitas produk bio-oil. Selain itu, proses yang lama dengan laju pemanasan yang lama tersebut membutuhkan energi masuk yang lebih banyak (Jahirul, 2012).

## 2. *Fast pyrolysis*

Pada proses *fast pyrolysis*, produk yang dihasilkan yaitu 60%-70% produk oil yang terdiri dari oil dan cairan lainnya, 15%-25% produk padat biasanya *biochar*, dan 10%-20% produk dengan fase gas tergantung dari bahan baku pirolisis yang digunakan. Karakteristik utama dari proses *fast pyrolysis* yaitu laju pemanasan dan perpindahan panas yang cepat, pendinginan uap yang cepat, dan kontrol dari reaksi temperatur yang presisi (Jahirul, 2012).

Proses *fast pyrolysis* ini memiliki efisiensi energi yang lebih tinggi dibandingkan proses pirolisis lainnya dan biaya yang dikeluarkan untuk proses ini relatif rendah. Karena tujuan utama dari proses *fast pyrolysis* ini adalah mendapatkan produk cair/*liquid* maka proses ini menjadi fokus utama dalam produksi bio-oil dalam beberapa tahun terakhir ini (Jahirul, 2012).

## 3. *Flash pyrolysis*

Pada proses *flash pyrolysis*, biomassa dipanaskan dengan cepat tanpa adanya oksigen pada temperatur yang relatif sedang yaitu sekitar 450°C sampai dengan 600°C (Basu, 2010). Produk hasil *flash pyrolysis* yaitu berupa gas *condensable* dan gas *noncondensable* (Bridgewater, 2004). Selama pendinginan, uap yang dapat dikondensasi akan terkondensasi menjadi bahan bakar cair yang biasa disebut bio-oil. Produk bio-oil pada proses *flash pyrolysis* sebanyak 70 sampai 75% dari produk total hasil pirolisis (Basu, 2010).

Tabel 2.2  
Tipikal Parameter Operasi dan Produk Hasil dari Proses Pirolisis

Pyrolysis Process	Solid Residence Time (s)	Heating Rate (K/s)	Particle Size (mm)	Temp. (K)	Product Yield (%)		
					Oil	Char	Gas
Slow	450–550	0.1–1	5–50	550–950	30	35	35
Fast	0.5–10	10–200	<1	850–1250	50	20	30
Flash	<0.5	>1000	<0.2	1050–1300	75	12	13

Sumber: Jahirul *et al.*, 2012

## 2.5 Bio-oil Pirolisis

Bio-oil pirolisis adalah cairan yang dihasilkan dari kondensasi uap pada reaksi pirolisis. Bio-oil pirolisis mempunyai potensi untuk digunakan sebagai substitusi bahan bakar. Bio-oil pirolisis memiliki sifat dan karakteristik sebagai berikut:

1. Berwarna coklat gelap atau hijau tua untuk biomassa, karena adanya mikro karbon dan komposisi kimia lainnya dalam minyak tersebut.
2. Memiliki densitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan bahan bakar fosil, yaitu sebesar 1,2 kg/liter sedangkan densitas bahan bakar oil sebesar 0,85 kg/liter.
3. Memiliki nilai kalor yang lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar fosil karena terdapat kadar oksigen, lebih banyak sekitar 50% dibandingkan dengan bahan bakar fosil.
4. Viskositasnya bervariasi dari serendah 25 centistokes (cSt) sampai dengan sebesar 1000 cSt.

Berdasarkan penelitian Shihadeh dan Hochgreb, efisiensi *thermal* minyak pirolisis identik dengan bahan bakar diesel yang biasa digunakan pada motor bakar diesel, tetapi menunjukkan adanya penundaan dalam pengapiannya. Namun, kualitas dan stabilitas dari minyak pirolisis juga dapat dimodifikasi dengan proses yang bervariasi seperti laju pemanasan, temperatur pemanasan, dan lama pemanasan. Untuk memaksimalkan produk cair dari proses pirolisis, cara yang dapat dilakukan yaitu dengan menggunakan laju pemanasan yang tinggi, temperatur akhir yang sedang (sekitar 450°C sampai 600°C), dan waktu pemanasan yang pendek (Basu, 2010).

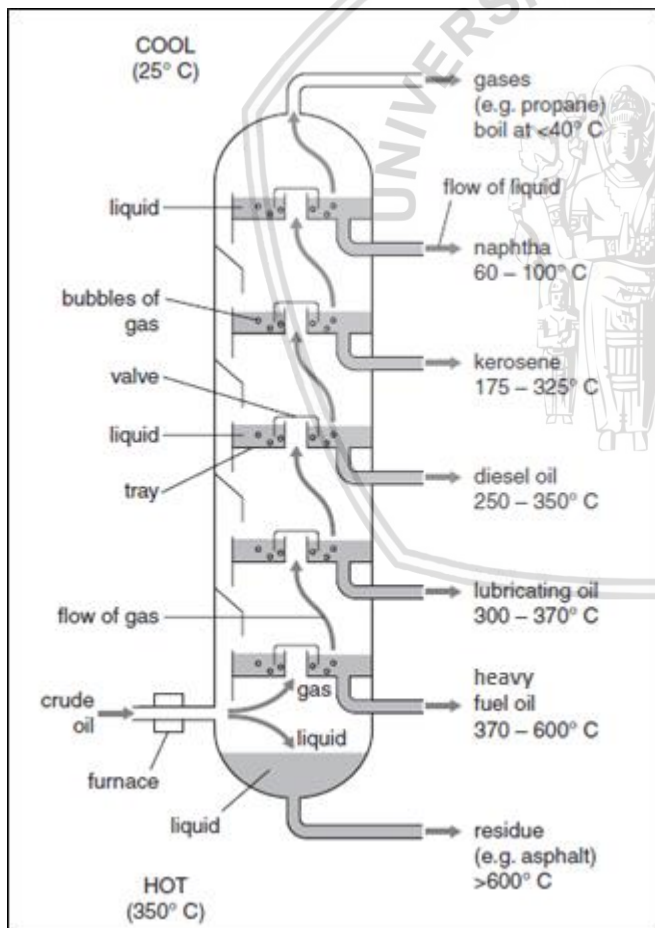
## 2.6 Pembentukan *Fuel Oil*

*Fuel oil* atau biasa disebut bahan bakar minyak merupakan bahan bakar dalam bentuk cair yang terdiri dari gabungan hidrokarbon yang diperoleh dari alam maupun secara buatan. Bahan bakar cair biasanya berasal dari minyak bumi atau *petroleum* (Wiratmaja, 2010). *Petroleum* juga bisa disebut dengan *crude oil*/minyak mentah adalah minyak yang secara natural terbentuk dari tumbuhan yang membusuk dan terdekomposisi secara alami atau dari fosil hewan yang berumur jutaan tahun yang lalu. Pada *petroleum* terdapat campuran hidrokarbon yaitu molekul yang mengandung hidrogen dan karbon yang memiliki berbagai panjang dan struktur, mulai dari rantai lurus, rantai bercabang, hingga berbentuk cincin (Ashraf, 2012). *Petroleum* umumnya dalam keadaan cair yang juga mencakup senyawa sulfur, nitrogen, oksigen, logam, dan unsur lainnya. *Fuel oil* merupakan produk berbasis minyak yang dapat diperoleh dengan penyulingan minyak bumi melalui proses distilasi fraksional. Produk hasil penyulingan *fuel oil* di antaranya terdiri dari *gasoline*/bensin, *kerosene*, dan diesel. (Gary *et al.*, 2007; Hsu and Robinson, 2006; Speight, 2014; Speight and Ozum, 2002).

*Fuel oil* pada mulanya dibentuk dengan memisahkan fraksi minyak mentah yang lebih mudah menguap dan lebih berharga melalui proses distilasi fraksi. Proses distilasi fraksi itu



sendiri merupakan proses yang menggunakan prinsip bahwa zat yang berbeda akan akan mendidih pada suhu yang berbeda juga. Misalnya pada minyak mentah mengandung *kerosene*, *gasoline*, dan *diesel*, yang merupakan pecahan yang berguna. Ketika kita menguapkan campuran dari *kerosene* dan *gasoline*, kemudian mendinginkannya, *gasoline* akan terkondensasi pada temperatur yang lebih rendah dibandingkan *kerosene*. Untuk *gasoline* sendiri memiliki temperatur pendidihan dari 40°C sampai dengan 205°C dan memiliki campuran *alkane* dan *cyloalkane* (dengan nomor atom karbon 5 sampai 12). Untuk *kerosene* sendiri memiliki temperatur pendidihan dari 175°C sampai dengan 325°C dan memiliki campuran *alkane* (dengan nomor atom karbon 10 sampai 18) dan aromatik. Sedangkan untuk *diesel* sendiri memiliki temperatur pendidihan dari 250°C sampai dengan 350°C dan memiliki campuran *alkane* dengan nomor atom karbon 12 atau lebih (Ashraf, 2012).



Gambar 2.6 Distilasi Fraksional Minyak Mentah  
Sumber: Ashraf (2012)

## 2.7 Sifat Fisik Bahan Bakar

Bahan bakar khususnya dalam bentuk cair memiliki sifat fisik. Secara umum, sifat fisik yang perlu diketahui antara lain yaitu massa jenis (*density*), viskositas (*viscosity*), titik nyala (*flash point*), dan nilai kalor (*heating value*).

Tabel 2.3

Sifat Fisik Bahan Bakar Minyak Komersial

Sifat Fisik	Nilai Standar Komersial (ASTM 1979)	
	<i>Gasoline</i>	Diesel
Nilai Kalor (MJ/kg)	42,5	43,0
Viskositas (mm <sup>2</sup> /s)	1,17	1,9-4,1
Densitas @ 15°C (g/cm <sup>3</sup> )	0,780	0,807
<i>Flash Point</i> (°C)	-42	52

Sumber: Sharuddin *et al.* (2016)

### 2.7.1 Massa Jenis

Massa jenis atau densitas dapat didefinisikan sebagai massa per satuan unit volume.

Massa jenis dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

dimana,

$\rho$  = massa jenis (kg/m<sup>3</sup>)

$m$  = massa (kg)

$v$  = volume (m<sup>3</sup>)

Massa jenis suatu zat pada umumnya tergantung oleh tekanan dan temperatur. Massa jenis dari sebagian gas berbanding lurus dengan tekanan tetapi berbanding terbalik dengan temperatur, sedangkan hal itu tidak begitu berpengaruh oleh zat cair karena zat cair itu sendiri merupakan zat yang tidak dapat dimampatkan atau *incompressible*. Misalnya apabila sebuah gas dimampatkan maka akan mengalami perubahan volume menjadi lebih kecil dan akan mendapatkan nilai densitas yang lebih besar. Berbeda dengan zat cair, karena zat cair itu merupakan *incompressible* maka apabila tekanan dinaikkan, densitasnya tidak akan berubah secara signifikan. Contohnya seperti air pada 20°C memiliki densitas sebesar 998 kg/m<sup>3</sup> pada 1 atm, apabila tekanannya dinaikkan menjadi 100 atm, densitas air hanya berubah sekitar 0,5% yaitu menjadi 1003 kg/m<sup>3</sup>. Kepadatan atau densitas suatu cairan sangat

tergantung dari temperatur daripada tekanan. Untuk *gasoline* sendiri memiliki densitas sebesar  $0,780 \text{ g/cm}^3$  pada suhu  $15^\circ\text{C}$  sedangkan untuk diesel sebesar  $0,807 \text{ g/cm}^3$ . (Yunus A. Cengel, 2006; Sharuddin *et al.*, 2016).

### 2.7.2 Viskositas

Viskositas merupakan ukuran yang menunjukkan ketahanan sebuah cairan untuk mengalir. Semakin besar nilai viskositas cairan maka cairan tersebut akan semakin sulit mengalir dan begitu juga sebaliknya, jika nilai viskositasnya rendah maka cairan tersebut akan semakin mudah mengalir. Sama halnya seperti densitas, viskositas dipengaruhi oleh suhu. Suhu yang semakin meningkat akan menyebabkan nilai viskositasnya menurun. Viskositas merupakan salah satu sifat yang sangat penting pada bahan bakar minyak. Dari viskositas ini dapat dilihat seberapa mudah bahan bakar tersebut mengalir di ruang bakar, jika viskositas suatu bahan bakar semakin rendah maka bahan bakar akan semakin mudah mengalir di dalam ruang bakar dan semakin mudah dalam mengalami atomisasi. Untuk *gasoline* sendiri memiliki viskositas sebesar  $1,17 \text{ mm}^2/\text{s}$ , sedangkan untuk diesel sebesar  $1,9\text{-}4,1 \text{ mm}^2/\text{s}$  (Speight, 2015; Sharuddin *et al.*, 2016).

### 2.7.3 Titik Nyala Api

Titik nyala api atau *flash point* dapat didefinisikan sebagai temperatur terendah dimana suatu bahan bakar dapat dipanaskan hingga menghasilkan uap yang cukup untuk terbakar sebentar bila dilewatkan suatu nyala api. *Flash point* mempunyai pengaruh yang penting pada proses pembakaran, apabila titik nyala api terlalu tinggi maka untuk terjadinya ledakan pada saat proses pembakaran dalam mesin akan terlambat, begitu juga sebaliknya apabila titik nyala api terlalu rendah maka bahan bakar tersebut akan sangat mudah terbakar yang mana akan menyebabkan ledakan sebelum waktunya pada saat proses pembakaran dalam mesin. Titik nyala api juga merupakan sifat fisik yang menentukan kualitas dari bahan bakar tersebut. Untuk *gasoline* sendiri memiliki *flash point* sebesar  $42^\circ\text{C}$ , sedangkan untuk diesel sebesar  $52^\circ\text{C}$  (Sharuddin *et al.*, 2016).

### 2.7.4 Nilai Kalor

Nilai kalor merupakan suatu angka yang menyatakan jumlah kalori atau panas yang dihasilkan dari proses pembakaran sejumlah tertentu bahan bakar dengan udara atau oksigen. Bahan bakar minyak umumnya memiliki nilai kalor berkisar antara  $18300 - 19800 \text{ Btu/lb}$  atau  $10160 - 11000 \text{ kkal/kg}$ . Nilai kalor berbanding terbalik dengan densitas. Pada volume

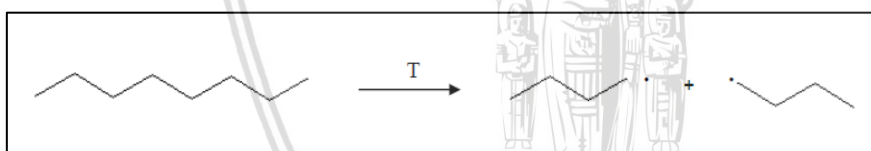
yang sama, semakin besar densitas suatu minyak maka semakin kecil nilai kalornya, begitu juga sebaliknya semakin rendah densitasnya maka akan semakin tinggi nilai kalornya. Nilai kalor atas atau *High Heating Value* (HHV) untuk bahan bakar cair ditentukan dengan pembakaran dengan oksigen bertekanan pada *bomb calorimeter*. Untuk *gasoline* sendiri memiliki nilai kalor sebesar 42,5 MJ/kg, sedangkan untuk diesel sebesar 43 MJ/kg (Wiratmaja, 2010; Sharuddin *et al.*, 2016).

## 2.8 Thermal Cracking

Proses pemecahan senyawa hidrokarbon rantai panjang menjadi senyawa hidrokarbon rantai yang lebih pendek dengan bantuan panas atau kalor disebut dengan *thermal cracking*. Proses *thermal cracking* pada plastik terjadi oleh mekanisme radikal. Mekanisme radikal sendiri dibagi menjadi 3, yaitu:

### a. Initiation

Pada proses ini terjadi pemutusan ikatan C-C akibat pemberian kalor pada hidrokarbon rantai panjang menjadi dua hidrokarbon panjang rantai karbon pendek dengan radikal bebas, misalnya oktana.



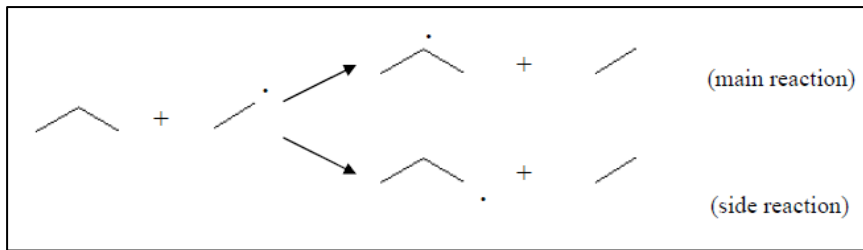
Gambar 2.7 Proses Initiation

Sumber: Angeira (2008)

### b. Propagation

Pada proses ini terjadi pembentukan hidrokarbon radikal bebas yang terus menerus terpecah menjadi hidrokarbon yang lebih pendek.





Gambar 2.8 Proses *Propagation*

Sumber: Angeria (2008)

### c. *Termination*

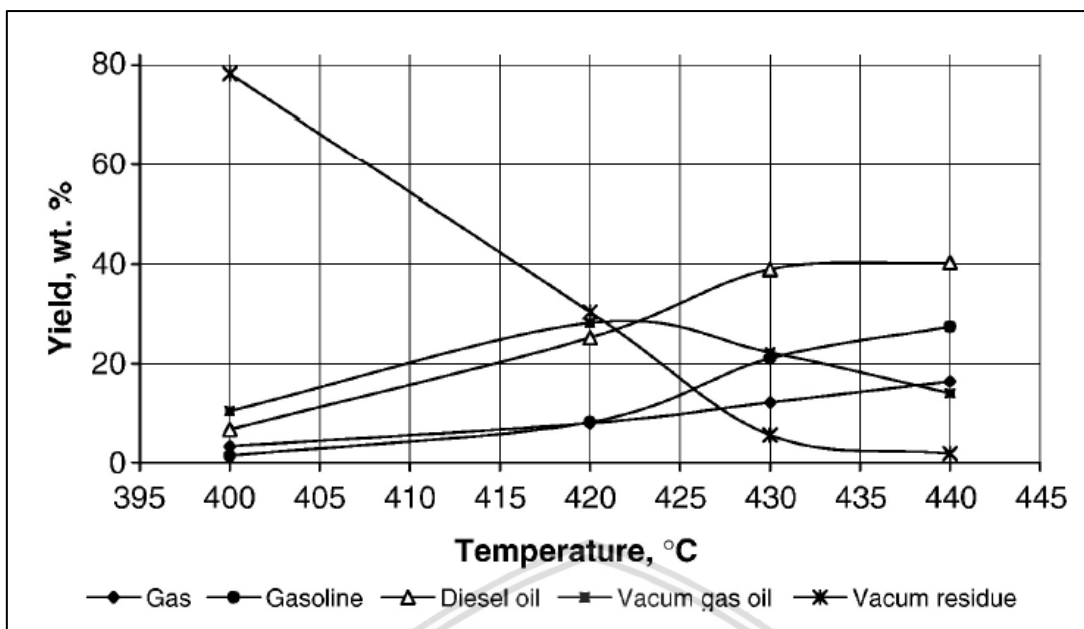
Pada proses ini terjadi pembentukan senyawa hidrokarbon stabil yang terjadi karena reaksi antara dua hidrokarbon dengan radikal bebas, dan reaksi hidrokarbon dengan radikal bebas dengan dinding reaktor.



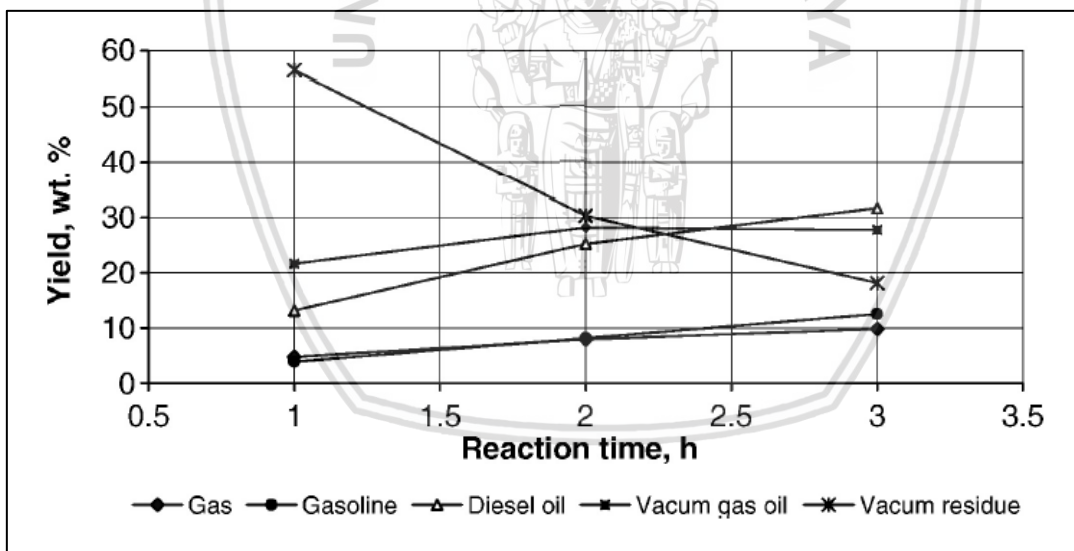
Gambar 2.9 Proses *Termination*

Sumber: Angeira (2008)

*Thermal cracking* pada plastik *polyethylene* (PE) telah diteliti sebelumnya. Seiring meningkatnya temperatur *cracking* maka dekomposisi PE juga akan ikut meningkat, volume gas yang dihasilkan lebih banyak, dan fraksi cairan ringan juga dihasilkan. Memperluas waktu reaksi dari 1 jam menjadi 3 jam juga akan menghasilkan produk gas dan produk cair lebih banyak. Sedangkan untuk perubahan temperatur saat proses depolimerisasi hanya memiliki efek yang sedikit pada komposisi gas yang dihasilkan. Hal ini dapat kita lihat pada gambar 2.10; gambar 2.11; dan gambar 2.12.

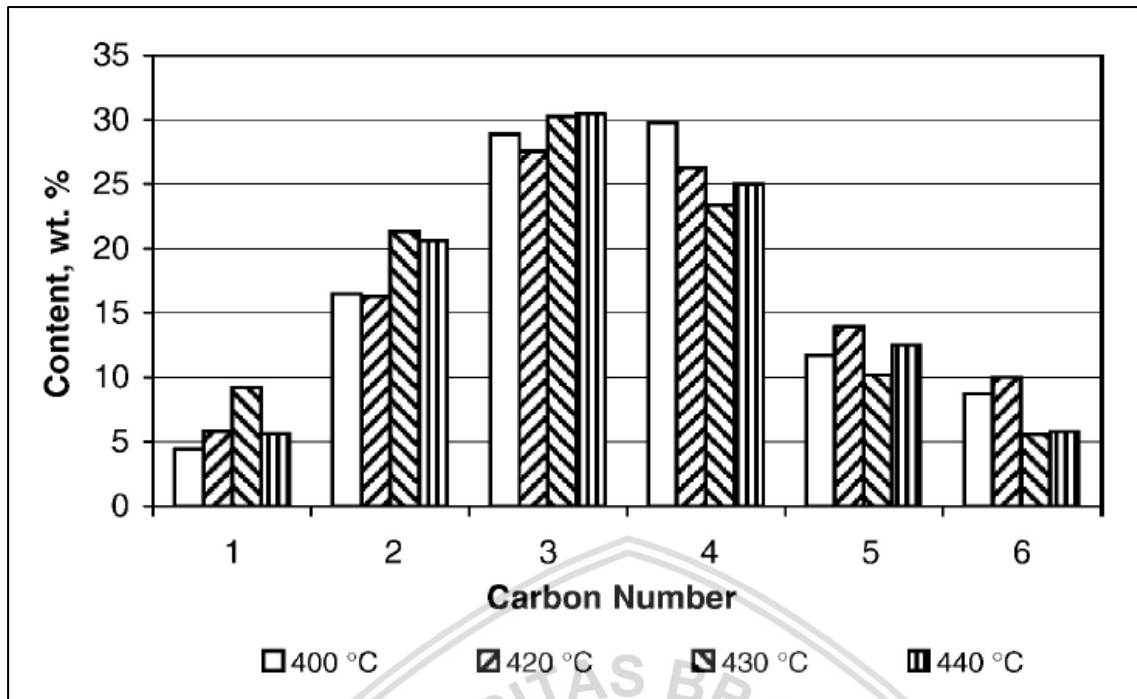


Gambar 2.10 Pengaruh Temperatur Reaksi pada Komposisi Produk *Thermal Cracking* PE  
Sumber: Mosio-Mosiewski *et al.* (2007)



Gambar 2.11 Pengaruh Waktu Reaksi pada Komposisi Produk *Thermal Cracking* PE pada Temperatur 420°C

Sumber: Mosio-Mosiewski *et al.* (2007)



Gambar 2.12 Komposisi Produk Gas Dari Degradasi *Thermal Plastik* LDPE pada Temperatur yang Berbeda

Sumber: Mosio-Mosiewski *et al.* (2007)

## 2.9 Pengaruh Temperatur Terhadap Hasil Pirolisis Plastik

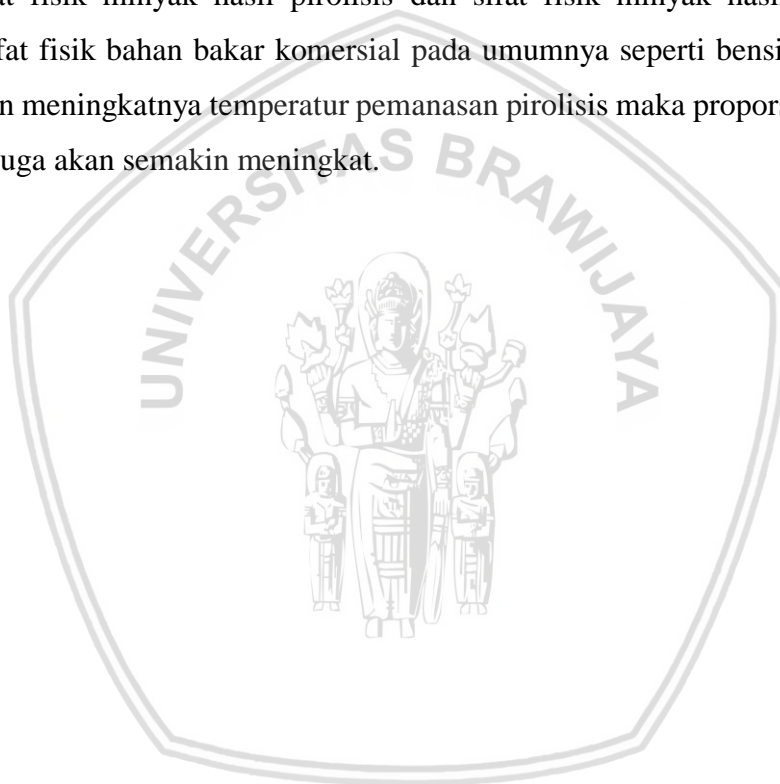
Temperatur merupakan salah satu faktor penting yang sangat mempengaruhi proses pirolisis pada plastik. Untuk mendapatkan komposisi yang diinginkan dibutuhkan variasi temperatur dengan berbagai jenis plastik. Pada temperatur 600°C, produk utamanya terdiri dari campuran gas bahan bakar seperti CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>, dan hidrokarbon ringan. Pada temperatur 400-600 °C, *wax* dan bahan bakar cair terbentuk. Produk bahan bakar cair biasanya berupa *naphtha*, *gasoline*, *diesel oil*, dan *kerosene*. Untuk plastik jenis *polyethylene* (PE) biasanya terkonversi menjadi bahan bakar minyak dan gas pada proses pirolisis (Scheirs, 2006)

Dengan meningkatnya temperatur pada proses pirolisis, yield dari produk gas dan hidrokarbon ringan (C<sub>3</sub>-C<sub>4</sub>) meningkat, sedangkan produk dengan nomor karbon tinggi (C<sub>21</sub>-C<sub>30</sub>) menurun. Pada proses *thermal cracking*, proporsi fraksi bensin dan diesel pada produk cair meningkat seiring naiknya temperatur. Meningkatnya temperatur pirolisis, berarti yield dari produk gas yang tidak terkondensasi juga akan meningkat tetapi yield dari bahan bakar cairnya menurun, seperti diesel. Sehingga semakin tinggi temperatur proses pirolisis akan diikuti dengan meningkatnya yield dari produk cair pada proses pirolisis beriringan dengan naiknya temperatur hanya sampai pada suatu titik tertentu, setelah titik maksimal tersebut

yield produk cair tersebut akan turun kembali secara perlahan karena penguraian parsial dari produk pirolisis tersebut (Scheirs, 2006).

### 2.10 Hipotesis

Berdasarkan tinjauan pustaka, perbedaan temperatur pemanasan saat proses pirolisis akan menghasilkan minyak dengan karakteristik yang berbeda-beda. Semakin tinggi temperatur pirolisis maka senyawa penyusun plastik akan semakin terdekomposisi dan menghasilkan volume dan massa minyak yang semakin meningkat hingga pada temperatur optimum. Perbedaan temperatur pirolisis yang digunakan juga akan menyebabkan perbedaan sifat fisik minyak hasil pirolisis dan sifat fisik minyak hasil pirolisis akan menyerupai sifat fisik bahan bakar komersial pada umumnya seperti bensin, kerosen, dan diesel. Semakin meningkatnya temperatur pemanasan pirolisis maka proporsi fraksi minyak hasil pirolisis juga akan semakin meningkat.







## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah penelitian eksperimental (*experimental research*) sebagai pengamatan yang dilakukan untuk memastikan hipotesis dan mengetahui lebih lanjut antara hubungan sebab akibat pada penelitian ini. Penelitian ini digunakan untuk menguji suatu perlakuan dan membandingkan dengan perlakuan lainnya yaitu proses pirolisis plastik LDPE dengan temperatur pembentukan *gasoline* yang bertujuan untuk mengetahui kuantitas dan sifat fisik minyak hasil pirolisis pada variasi temperatur tertentu.

#### 3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret 2018 sampai Mei 2018 di Laboratorium Motor Bakar Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang.

#### 3.3 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan pada penelitian ini yaitu sebagai berikut:

a. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang nilainya ditentukan sendiri terlebih dahulu dan tidak dipengaruhi oleh variabel lain tetapi mempengaruhi variabel lain. Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini adalah temperatur pemanasan pada saat proses pirolisis, yaitu sebesar 200°C, 250°C, 300 °C, 350 °C, dan 400 °C.

b. Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besar nilainya dipengaruhi oleh variabel bebas dan tidak dapat ditentukan sendiri. Variabel terikat yang digunakan dalam penelitian pirolisis ini adalah jumlah produk minyak hasil pirolisis dan sifat fisik minyak hasil pirolisis yaitu densitas, viskositas, *flash point*, serta nilai kalornya.

c. Variabel Terkontrol

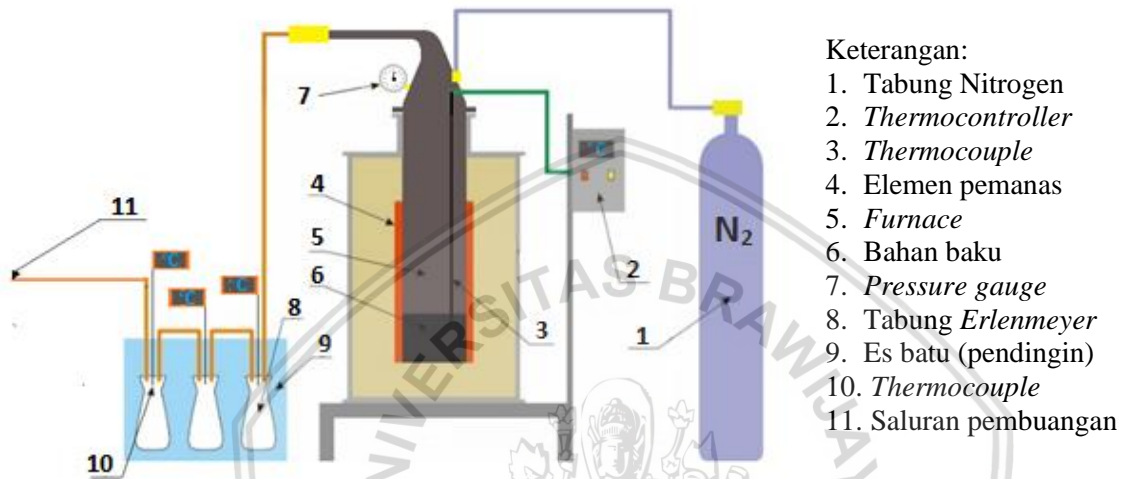
Variabel terkontrol adalah variabel yang ditentukan oleh peneliti dan nilainya dikondisikan konstan. Variabel terkontrol yang digunakan pada penelitian ini, yaitu plastik LDPE seberat 250 gram dengan ukuran luas sekitar 25 cm<sup>2</sup> dan dipirolisis selama 2 jam.

### 3.4 Alat dan Bahan Penelitian

#### 3.4.1 Alat yang Digunakan

##### 1. Instalasi *Pyrolizer*

Instalasi *pyrolizer* adalah serangkaian alat yang berfungsi untuk melakukan proses pirolisis plastik LDPE sehingga menghasilkan produk pirolisis sesuai dengan keinginan. Skema instalasi *pyrolizer* dapat dilihat pada *Gambar 3.1* berikut ini.



*Gambar 3.1* Instalasi Alat Pirolisis

Penjelasan gambar:

Instalasi pirolisis pada *gambar 3.1* di atas merupakan instalasi yang digunakan pada saat penelitian. Instalasi tersebut terdiri dari tabung nitrogen (1) yang berfungsi sebagai tempat penyimpanan gas nitrogen dan digunakan sebagai penyalur gas nitrogen ke dalam *furnace* (5). Gas nitrogen tersebut berfungsi untuk mendorong oksigen keluar agar proses pirolisis dapat dilakukan tanpa adanya oksigen. *Furnace* (5) sendiri merupakan silinder yang terbuat dari *stainless steel* berdiameter 5 ¼ inchi yang digunakan sebagai wadah atau tempat bahan baku yang akan dipanaskan. Bahan baku (6) yang digunakan pada proses pirolisis ini yaitu plastik berjenis *low density polyethylene* (LDPE).

Elemen pemanas (4) pada proses pirolisis yang digunakan berasal dari kumparan pemanas. Untuk mengukur temperatur yang ada di dalam *furnace* dibutuhkan *thermocouple* (3). *Thermocouple* yang digunakan berjenis tipe K agar dapat diubah ke dalam data digital. *Thermocouple* tipe K dapat membaca temperatur hingga 1000°C, dengan geometri panjang sensor 10 cm dan diameter sensor 4 mm. Temperatur yang terbaca oleh *thermocouple* akan diteruskan ke dalam data digital dan dapat dibaca di

*thermocontroller* (2). Selain menunjukkan temperatur di dalam *furnace*, *thermocontroller* juga berfungsi untuk mengatur arus pada *heater* sehingga temperatur yang ada di dalam *furnace* dapat dikontrol sesuai dengan keinginan. Pada sisi atas *furnace* juga terdapat *pressure gauge* (7) yang dapat digunakan untuk mengetahui seberapa besar tekanan di dalam *furnace* tersebut.

Selama proses pemanasan berlangsung, bahan baku yang sudah berubah menjadi gas akan tersalurkan menuju tabung Erlenmeyer (8). Tabung ini digunakan untuk menampung minyak hasil pirolisis. Minyak hasil pirolisis tersebut didapatkan dari gas yang terkondensasi. Agar gas yang ada di dalam tabung Erlenmeyer bisa terkondensasi, tabung tersebut harus diletakkan di sebuah wadah yang berisi air es dan es batu (9) yang berfungsi sebagai kondensor. Di setiap tabung juga terdapat *thermocouple* (10) yang berfungsi untuk mengetahui seberapa besar temperatur di dalam masing-masing tabung tersebut. Untuk uap atau gas yang tidak terkondensasi, gas tersebut akan terbang ke udara terbuka melalui saluran pembuangan (11).

#### 2. *Stopwatch*

*Stopwatch* digunakan untuk mengukur waktu saat memasukan gas nitrogen ke dalam *furnace* dan mengukur waktu proses pirolisis berlangsung.

#### 3. Timbangan Elektrik

Timbangan Elektrik digunakan untuk menimbang massa plastik LDPE yang akan digunakan sebagai bahan baku pirolisis dan massa minyak hasil pirolisis.



Gambar 3.2 Timbangan Elektrik

#### 4. *Flash Point Tester*

Alat ini digunakan untuk mengetahui titik nyala api minyak hasil pirolisis.



*Gambar 3.3 Flash Point Tester*

### 5. Bomb Calorimeter

Alat ini digunakan untuk mengukur nilai kalor dari minyak hasil pirolisis.



*Gambar 3.4 Bomb Calorimeter*

### 6. Viscometer

Viscometer digunakan untuk mengukur viskositas dari minyak hasil pirolisis.





Gambar 3.5 Viscometer

## 7. Gelas Ukur

Digunakan untuk mengukur volume dari minyak hasil pirolisis.

### 3.4.2 Bahan yang Digunakan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah plastik LDPE yang biasa digunakan sebagai pembungkus makanan atau plastik yang digunakan sebagai kantong kresek di pusat perbelanjaan.

### 3.5 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian berupa persiapan, sebagai berikut :

#### 1. Proses pengaturan debit aliran gas nitrogen sebesar 3L/menit

Debit aliran gas nitrogen diatur dengan mengukur kecepatan aliran nitrogen di ujung saluran nitrogen dengan menggunakan *anemometer* digital. Penampang saluran nitrogen berbentuk lingkaran berdiameter 0.5 cm dengan satuan kecepatan aliran pada anemometer adalah m/s, sehingga dilakukan perhitungan untuk mengetahui nilai debit yang diperlukan, sebagai berikut :

Diketahui :

$$\text{Diameter (D)} = 0,5\text{cm} \rightarrow r = 0,25\text{cm}$$

$$\text{Debit (Q)} = 3\text{L/menit} \rightarrow 3000\text{cm}^3/60\text{s} \rightarrow 50\text{cm}^3/\text{s}$$

$$Q = A \times v$$

$$50 \text{ cm}^3/\text{s} = \pi r^2 \times v$$

$$50 \text{ cm}^3/\text{s} = \pi (0,25 \text{ cm})^2 \times v$$

$$50 \text{ cm}^3/\text{s} = 0,19625 \text{ cm}^2 \times v$$



$$v = \frac{50 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}}{0,19625 \text{ cm}^2} \rightarrow v = 254 \text{ cm/s} \rightarrow v = 2,54 \text{ m/s}$$

Maka, nilai debit aliran gas nitrogen pada anemometer digital sebesar 2,54 m/s dengan 3L/menit.

## 2. Proses pemotongan plastik

Pada proses ini, plastik dipotong menjadi bagian yang lebih kecil yakni sebesar 5 cm<sup>2</sup> dengan panjang 2 cm dan lebar 2,5 cm.

## 3. Proses penimbangan plastik

Setelah dilakukan proses pemotongan plastik maka dilakukan proses penimbangan menggunakan timbangan elektrik. Plastik yang akan diuji adalah sebanyak 250 gram.

## 4. Proses persiapan instalasi *pyrolizer*

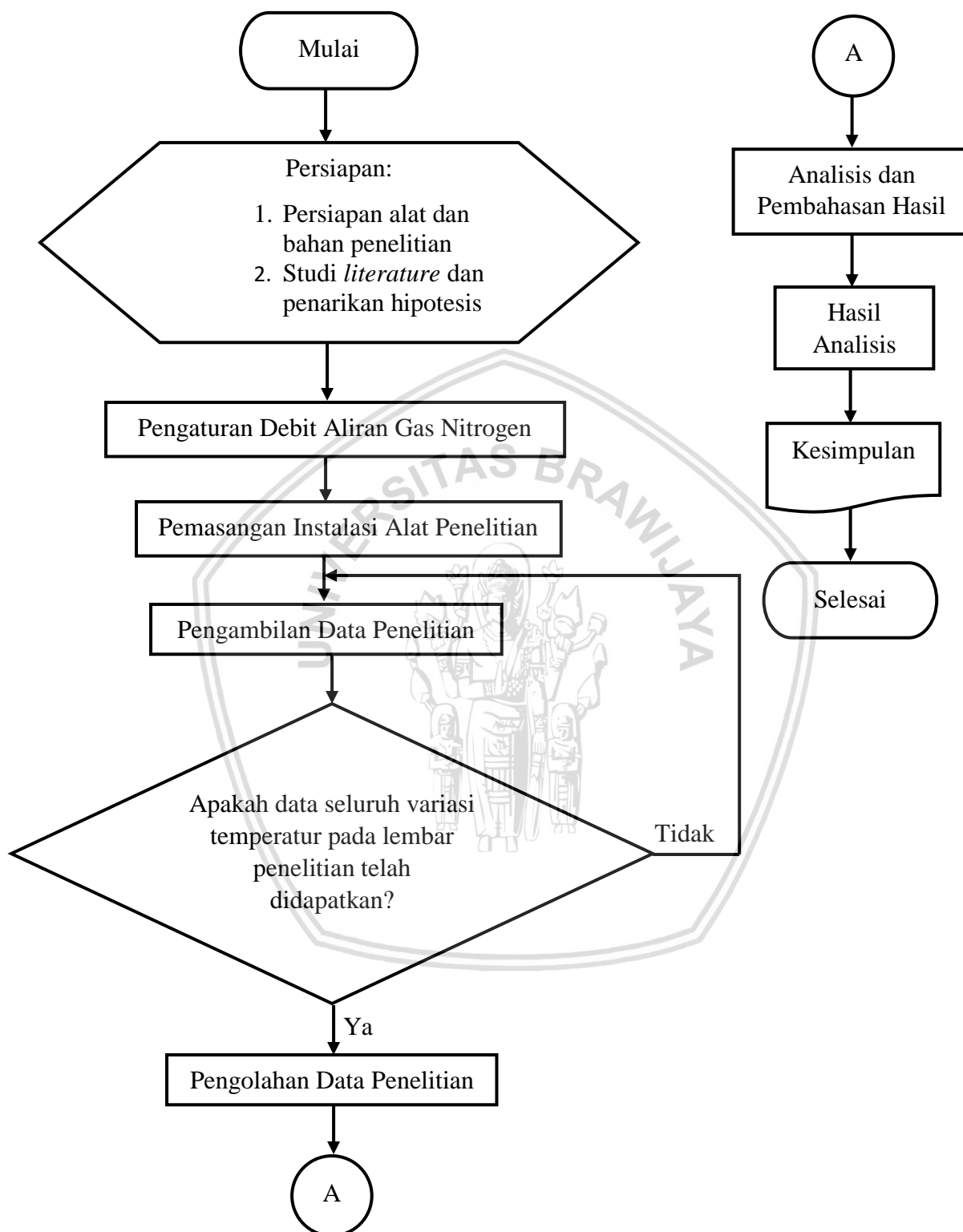
Proses persiapan instalasi *pyrolyzer* sesuai dengan skema instalasi alat.

## 5. Prosedur proses pirolisis

Langkah-langkah urutan proses pirolisis, sebagai berikut:

- a. Buka tutup alat *pyrolyzer*.
- b. Masukkan plastik LDPE ke dalam *pyrolyzer*.
- c. Tutup kembali alat *pyrolyzer*.
- d. Buka katup gas nitrogen untuk mengalirkan gas nitrogen ke dalam ruangan pemanasan (*furnace*) dengan *flowrate* 3L/menit selama 3 menit serta katup buang dibuka agar oksigen dapat terdorong keluar.
- e. Tutup kembali katup nitrogen.
- f. Nyalakan alat *pyrolyzer*.
- g. Atur *thermokontroller* sesuai variasi temperatur yang akan dijalankan pada penelitian di hari tersebut misalnya variasi awal yaitu 200° C.
- h. Proses pirolisis ini akan *running* selama 2 jam.
- i. Jika telah menempuh waktu selama 2 jam maka matikan *pyrolyzer*.
- j. Ukur volume minyak menggunakan gelas ukur.
- k. Ulangi prosedur pada variasi temperatur yang lain pada proses pirolisis.

### 3.6 Diagram Alir Penelitian

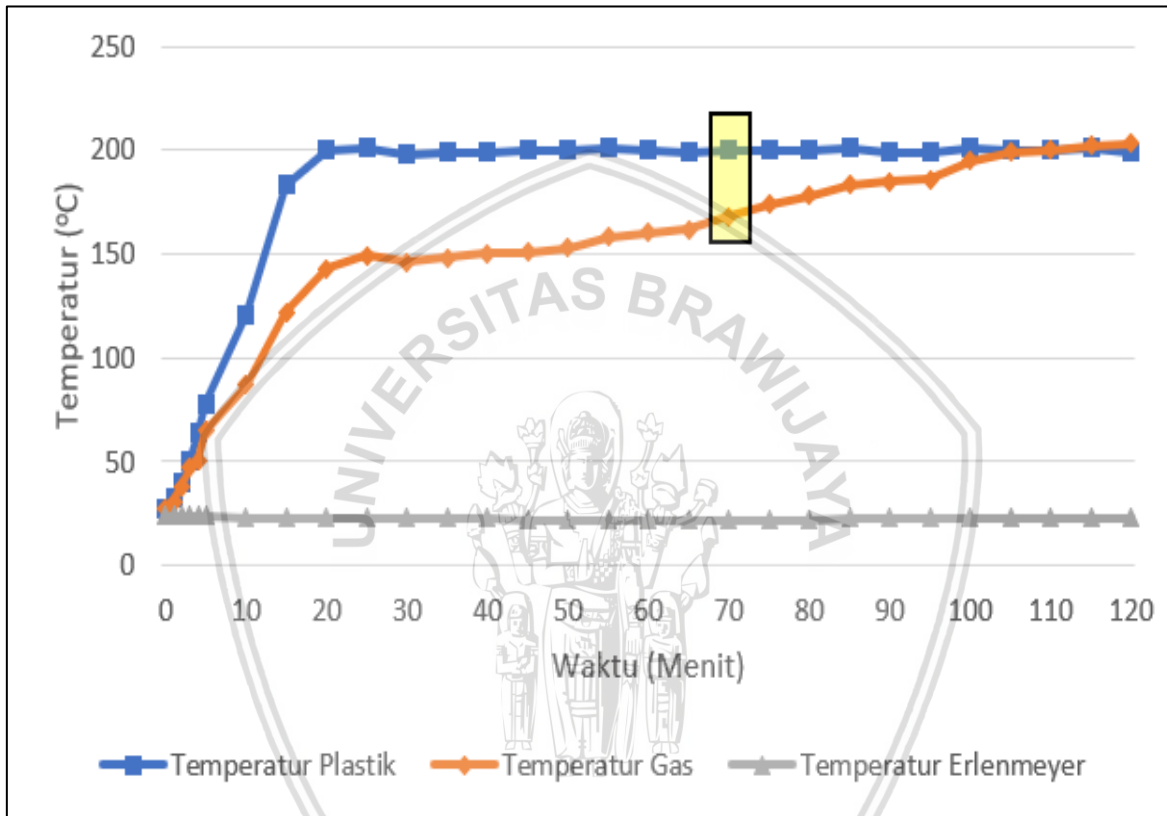




## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Analisis *Heating Rate* pada Proses Pirolisis

#### 4.1.1 Analisis *Heating Rate* pada Proses Pirolisis Temperatur 200°C



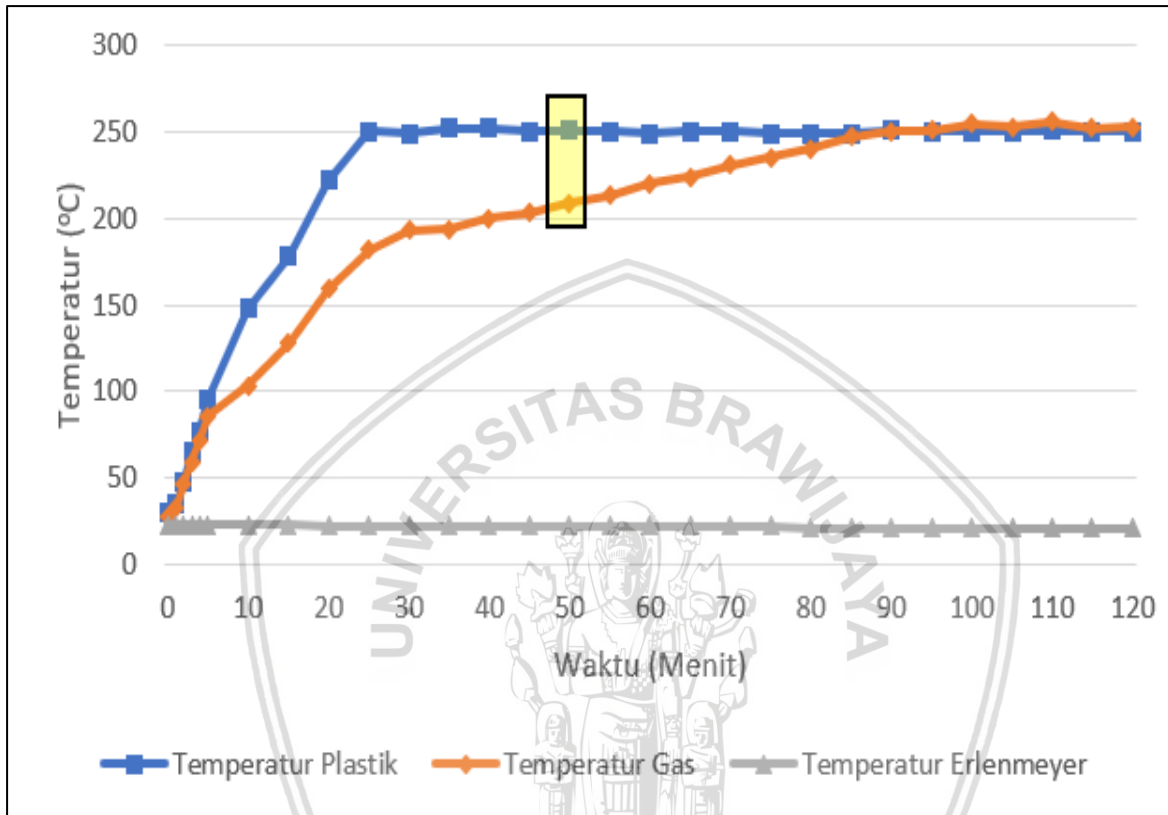
Gambar 4.1 Grafik Heating Rate pada Proses Pirolisis Temperatur 200°C

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa pada proses pirolisis dengan temperatur pemanasan 200°C, membutuhkan waktu selama 20 menit agar temperatur plastik mencapai 200°C dan temperatur gasnya sebesar 143°C tetapi minyak masih belum dihasilkan pada menit tersebut. Minyak mulai menetes di tabung *Erlenmeyer* pada menit ke- 70 dengan temperatur plastik 200°C dan temperatur gasnya sebesar 168°C. Pada proses pirolisis dengan temperatur pemanasan 200°C dapat dilihat bahwa minyak hasil pirolisis tidak langsung keluar pada saat temperatur mencapai 200°C yaitu pada menit ke- 20 dikarenakan plastik masih belum terdekomposisi sepenuhnya menjadi gas pada menit tersebut. Plastik LDPE memiliki titik leleh pada temperatur 110-125°C sehingga dibutuhkan waktu penahanan yang lebih lama



agar plastik yang berfase cair berubah fase menjadi gas lalu dikondensasi menjadi cair dan ditampung di tabung *Erlenmeyer*.

#### 4.1.2 Analisis *Heating Rate* pada Proses Pirolisis Temperatur 250°C



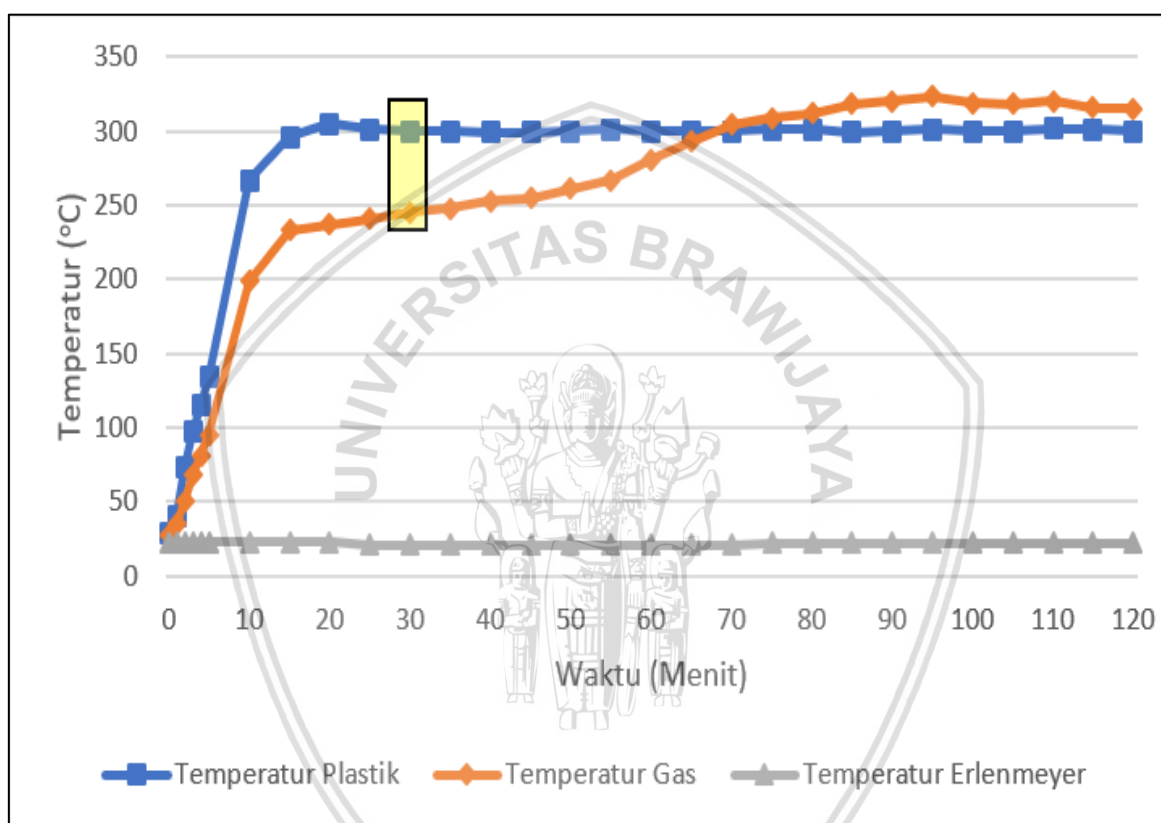
Gambar 4.2 Grafik *Heating Rate* pada Proses Pirolisis Temperatur 250°C

Gambar 4.2 menunjukkan bahwa pada proses pirolisis dengan temperatur pemanasan 250°C. Dari gambar 4.2 dapat dilihat bahwa selama proses pirolisis, dibutuhkan waktu selama 25 menit agar temperatur plastik mencapai 250°C dan temperatur gasnya sebesar 182°C tetapi minyak masih belum dihasilkan pada menit tersebut. Minyak mulai menetes di tabung *Erlenmeyer* pada menit ke- 45 dengan temperatur plastik 250°C dan temperatur gasnya sebesar 203°C. Pada proses pirolisis dengan temperatur pemanasan 250°C juga dapat dilihat bahwa minyak hasil pirolisis tidak langsung keluar pada saat temperatur mencapai 250°C yaitu pada menit ke- 25 dikarenakan plastik masih belum terdekomposisi sepenuhnya menjadi gas pada menit tersebut. Maka dari itu dibutuhkan waktu penahanan yang lebih lama lagi yaitu selama 20 menit agar plastik yang berfase cair berubah fase menjadi gas lalu dikondensasi menjadi cair dan ditampung di tabung *Erlenmeyer*.



Tetes minyak pada proses pirolisis temperatur 250°C muncul lebih dulu yaitu 25 menit lebih cepat dibandingkan dengan tetesan minyak pada proses pirolisis temperatur 200°C. Hal ini terjadi karena temperatur pemanasan yang lebih tinggi menyebabkan plastik lebih cepat terdekomposisi sehingga minyak yang dihasilkan akan lebih dulu dibandingkan dengan temperatur yang lebih rendah.

#### 4.1.3 Analisis *Heating Rate* pada Proses Pirolisis Temperatur 300°C

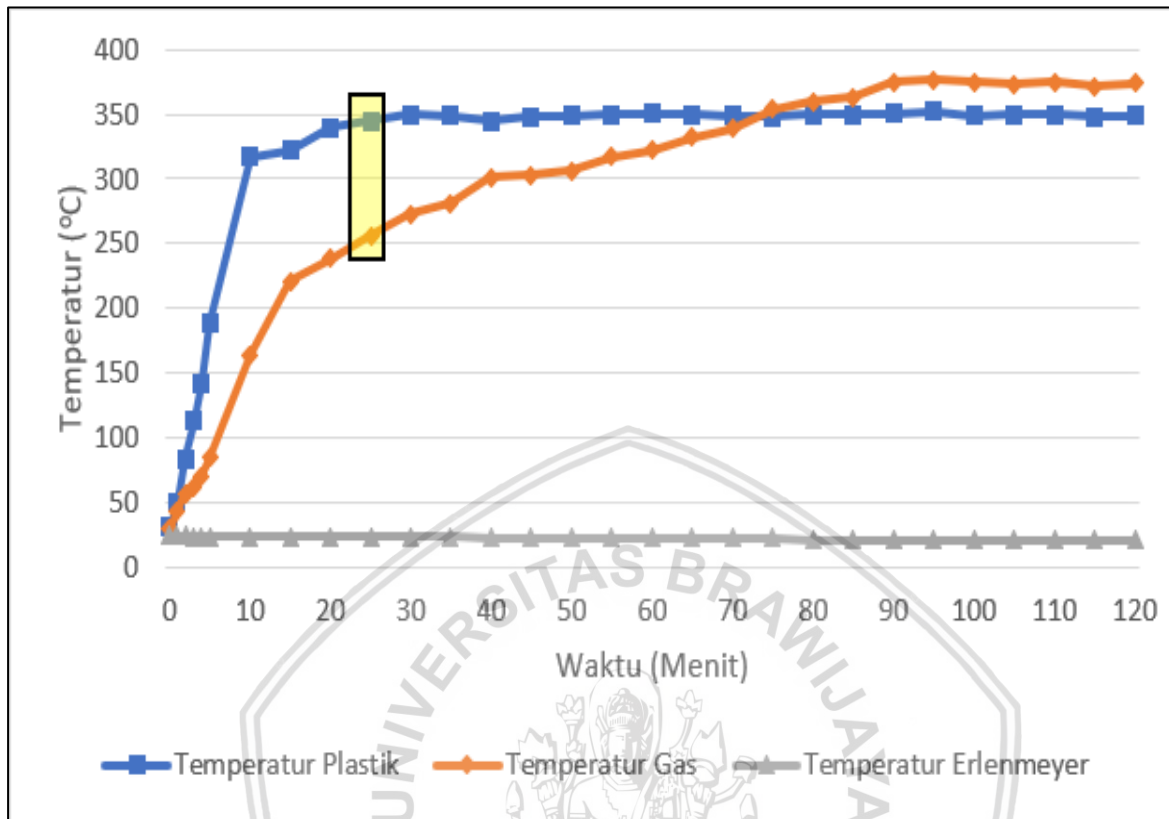


Gambar 4.3 Grafik *Heating Rate* pada Proses Pirolisis Temperatur 300°C

Gambar 4.3 menunjukkan bahwa pada proses pirolisis dengan temperatur pemanasan 300°C, membutuhkan waktu selama 20 menit agar temperatur plastik mencapai 305°C dan temperatur gasnya sebesar 237°C. Sedangkan minyak mulai menetes di tabung *Erlenmeyer* pada menit ke- 30 dengan temperatur plastik 300°C dan temperatur gasnya sebesar 245°C.

Tetes minyak pada pirolisis temperatur 300°C juga muncul lebih dulu dibandingkan dengan pirolisis temperatur 200°C dan 250°C karena temperatur pemanasan yang lebih tinggi menyebabkan plastik lebih cepat terdekomposisi sehingga minyak yang dihasilkan akan lebih dulu dibandingkan dengan temperatur yang lebih rendah.

#### 4.1.4 Analisis *Heating Rate* pada Proses Pirolisis Temperatur 350°C



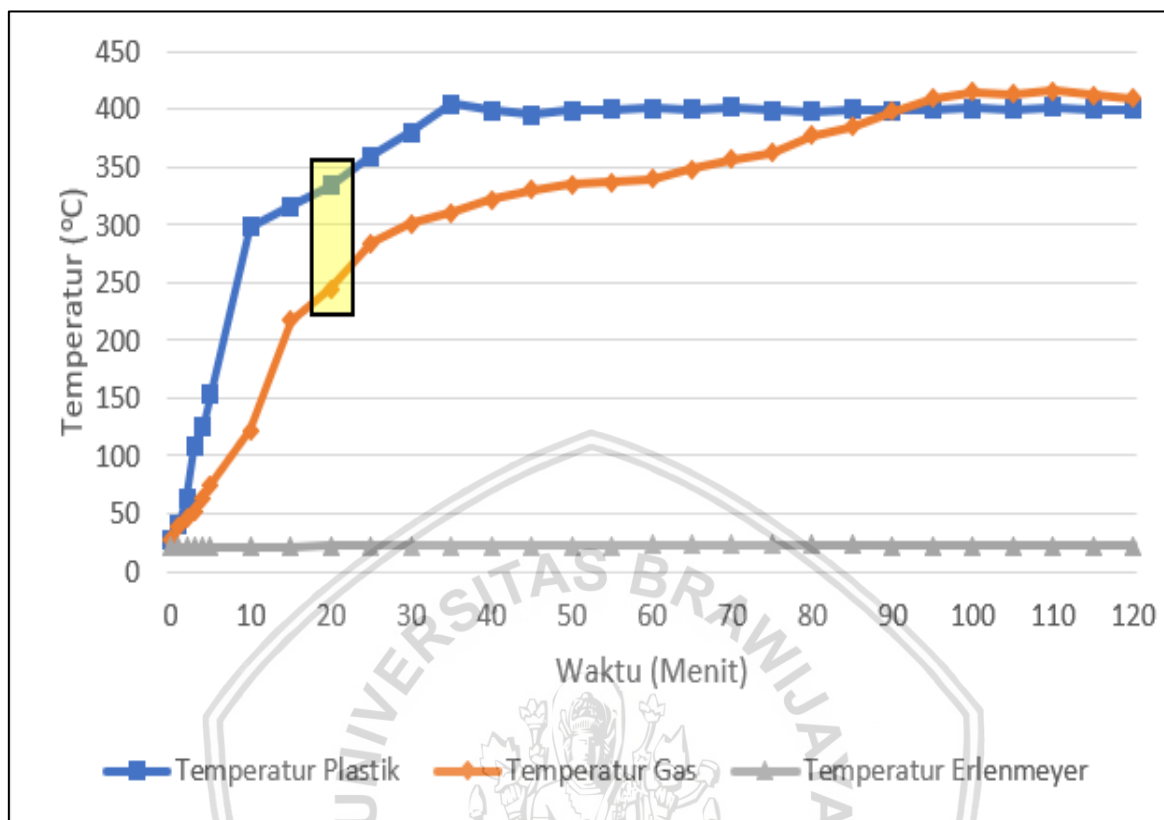
Gambar 4.4 Grafik *Heating Rate* pada Proses Pirolisis Temperatur 350°C

Gambar 4.4 menunjukkan bahwa pada proses pirolisis dengan temperatur pemanasan 350°C, membutuhkan waktu selama 30 menit agar temperatur plastik mencapai 350°C dan temperatur gasnya sebesar 273°C. Sedangkan minyak mulai menetes di tabung *Erlenmeyer* pada menit ke- 25 dengan temperatur plastik 345°C dan temperatur gasnya sebesar 256°C.

Dapat dilihat pada grafik bahwa minyak mulai menetes 5 menit lebih cepat sebelum menyentuh temperatur pemanasan yaitu pada temperatur plastik mencapai 345°C. Hal itu dikarenakan plastik telah terdekomposisi terlebih dahulu sebelum menyentuh temperatur pemanasan sehingga minyak sudah dapat dihasilkan walaupun belum menyentuh temperatur pemanasan pirolisis.

Tetes minyak pada pirolisis temperatur 350°C juga muncul lebih dulu dibandingkan dengan pirolisis temperatur 200°C, 250°C, dan 300°C karena temperatur pemanasan yang lebih tinggi menyebabkan plastik lebih cepat terdekomposisi sehingga minyak yang dihasilkan akan lebih dulu dibandingkan dengan temperatur yang lebih rendah.

#### 4.1.5 Analisis *Heating Rate* pada Proses Pirolisis Temperatur 400°C



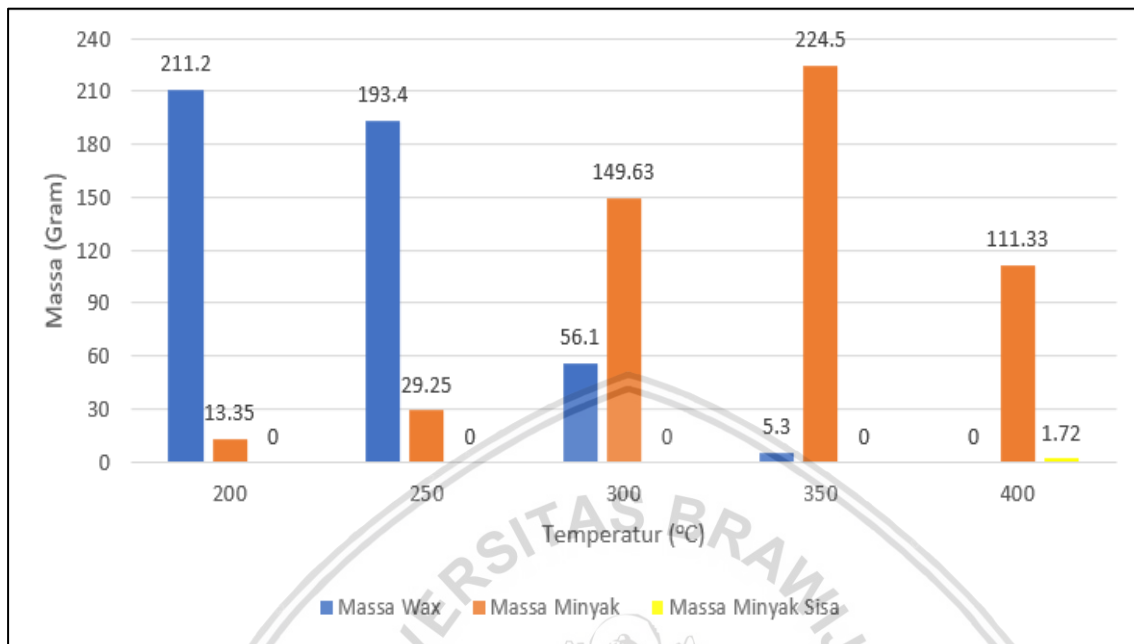
Gambar 4.5 Grafik *Heating Rate* pada Proses Pirolisis Temperatur 400°C

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa pada proses pirolisis dengan temperatur pemanasan 400°C, membutuhkan waktu selama 35 menit agar temperatur plastik mencapai 405°C dan temperatur gasnya sebesar 311°C. Sedangkan minyak mulai menetes di tabung *Erlenmeyer* pada menit ke- 20 dengan temperatur plastik 334°C dan temperatur gasnya sebesar 245°C.

Dapat dilihat pada grafik bahwa minyak mulai menetes 15 menit lebih cepat sebelum menyentuh temperatur pemanasan yaitu pada temperatur plastik mencapai 334°C. Hal itu dikarenakan plastik telah terdekomposisi terlebih dahulu sebelum menyentuh temperatur pemanasan sehingga minyak sudah dapat dihasilkan walaupun belum menyentuh temperatur pemanasan pirolisis.

Tetes minyak pada pirolisis temperatur 400°C juga muncul lebih dulu dibandingkan dengan pirolisis temperatur 200°C, 250°C, 300°C, dan 350°C karena temperatur pemanasan yang lebih tinggi menyebabkan plastik lebih cepat terdekomposisi sehingga minyak yang dihasilkan akan lebih dulu dibandingkan dengan temperatur yang lebih rendah.

## 4.2 Hubungan Temperatur Pirolisis Terhadap Massa dan Volume Minyak Hasil Pirolisis

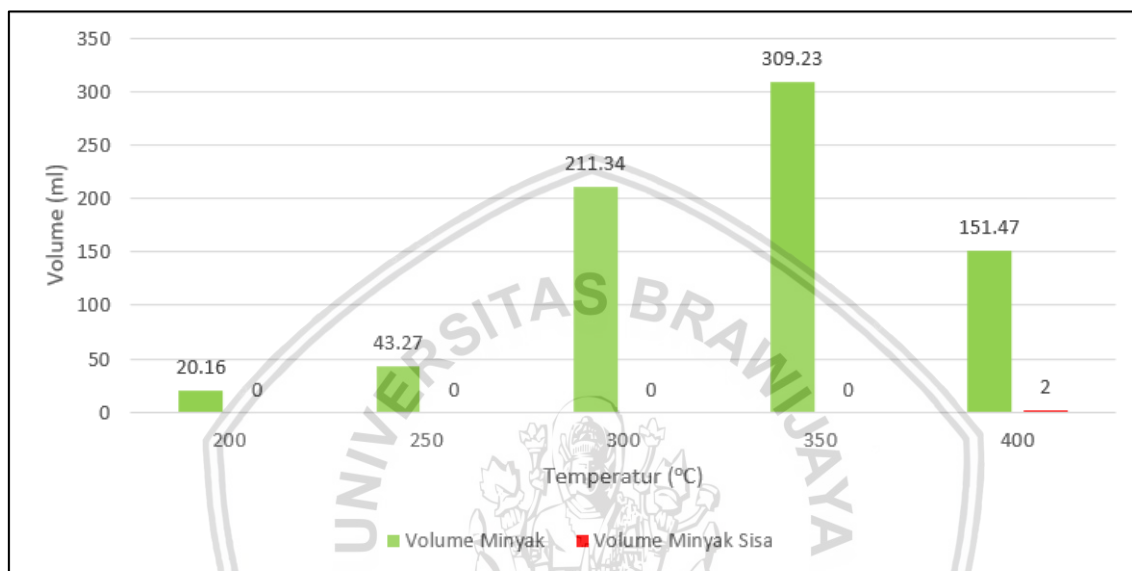


Gambar 4.6 Grafik Pengaruh Temperatur Pirolisis terhadap Massa Minyak Hasil Pirolisis

Semakin tinggi temperatur pemanasan pada proses pirolisis maka akan semakin banyak menghasilkan gas yang dapat terkondensasi ataupun tidak. Hal ini dikarenakan semakin tinggi temperatur pemanasan maka plastik akan mengalami *thermal cracking* sehingga plastik tersebut akan terdekomposisi menjadi gas (Scheirs, 2006). Gas yang dapat terkondensasi akan berubah fase menjadi fase cair dan ditampung di tabung *Erlenmeyer*. Semakin banyak gas yang dapat terkondensasi menyebabkan semakin banyak minyak yang akan dihasilkan sehingga massa minyak hasil pirolisis juga akan meningkat. Pada gambar 4.6 dapat dilihat bahwa semakin meningkatnya temperatur pirolisis maka massa minyak yang dihasilkan semakin naik.

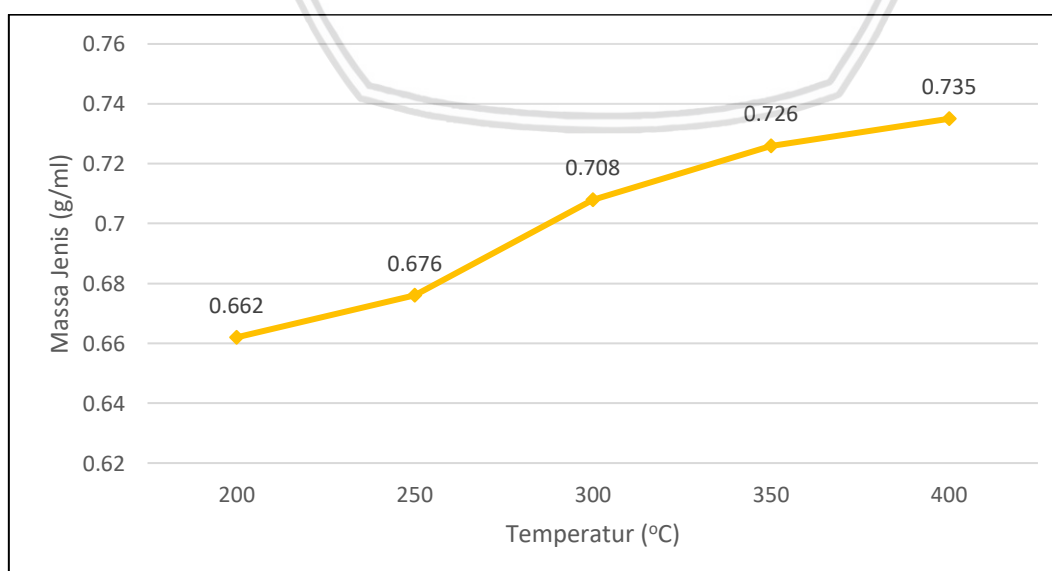
Dari gambar 4.6 terdapat penurunan massa minyak yang dihasilkan pada temperatur 400°C. Hal ini disebabkan karena pada temperatur 400°C gas yang tidak dapat terkondensasi lebih banyak dibandingkan dengan gas yang dapat terkondensasi sehingga minyak yang dihasilkan lebih sedikit (Scheirs, 2006). Terdapat juga minyak sisa pada pirolisis temperatur 400°C, hal ini disebabkan karena pada temperatur tersebut terdapat gas yang memiliki fraksi yang terlalu berat sehingga gas tersebut terperangkap di dalam reaktor dikarenakan tidak adanya energi yang cukup untuk mendorong gas tersebut keluar dan menyebabkan gas tersebut terkondensasi di dalam reaktor dan menjadi minyak sisa dengan fraksi yang berat.

Hal yang sama juga terjadi pada volume minyak yang dihasilkan. Peningkatan volume juga terjadi seiring naiknya temperatur sampai pada temperatur 350°C lalu mengalami penurunan pada temperatur pirolisis 400°C. Hal ini terjadi karena pada temperatur 400°C gas yang tidak dapat dikondensasi lebih banyak dihasilkan dibandingkan dengan pirolisis pada temperatur 350°C. *Gambar 4.7* menunjukkan pengaruh temperatur pirolisis terhadap volume minyak yang dihasilkan.



*Gambar 4.7* Grafik Pengaruh Temperatur Pirolisis terhadap Volume Minyak Hasil Pirolisis

#### 4.3 Hubungan Temperatur Pirolisis Terhadap Massa Jenis Minyak Hasil Pirolisis

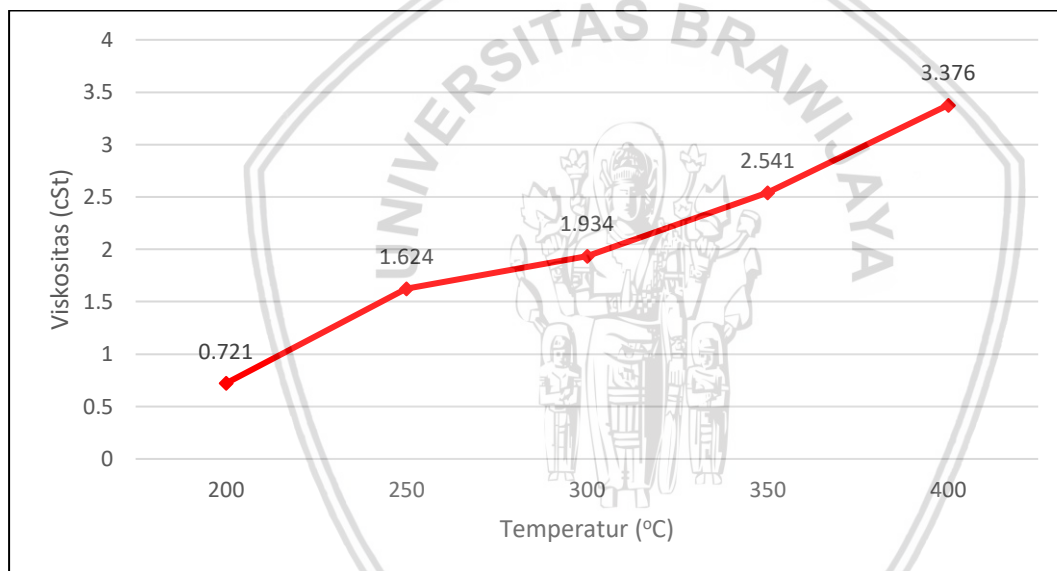


*Gambar 4.8* Grafik Pengaruh Temperatur Pirolisis terhadap Massa Jenis Minyak Hasil Pirolisis



Pada *gambar 4.8* dapat dilihat bahwa minyak hasil pirolisis plastik LDPE memiliki nilai massa jenis yang semakin meningkat seiring meningkatnya temperatur pemanasan pirolisis. Hal ini dikarenakan pada pirolisis dengan temperatur rendah terjadi *re-cracking* pada plastik. *Re-cracking* ini terjadi karena gas yang ada di dalam reaktor terkondensasi sebelum menuju saluran yang akan menuju ke kondensor sehingga minyak akan kembali ke dalam reaktor dan dipanaskan kembali. *Re-cracking* tersebut menyebabkan pemecahan rantai hidrokarbon lebih lanjut sehingga gas yang terkondensasi memiliki ikatan rantai hidrokarbon yang lebih pendek (Gao, 2010). Ikatan hidrokarbon yang lebih pendek tersebut mengakibatkan minyak yang dihasilkan akan memiliki massa jenis yang lebih rendah dan fraksi yang lebih ringan.

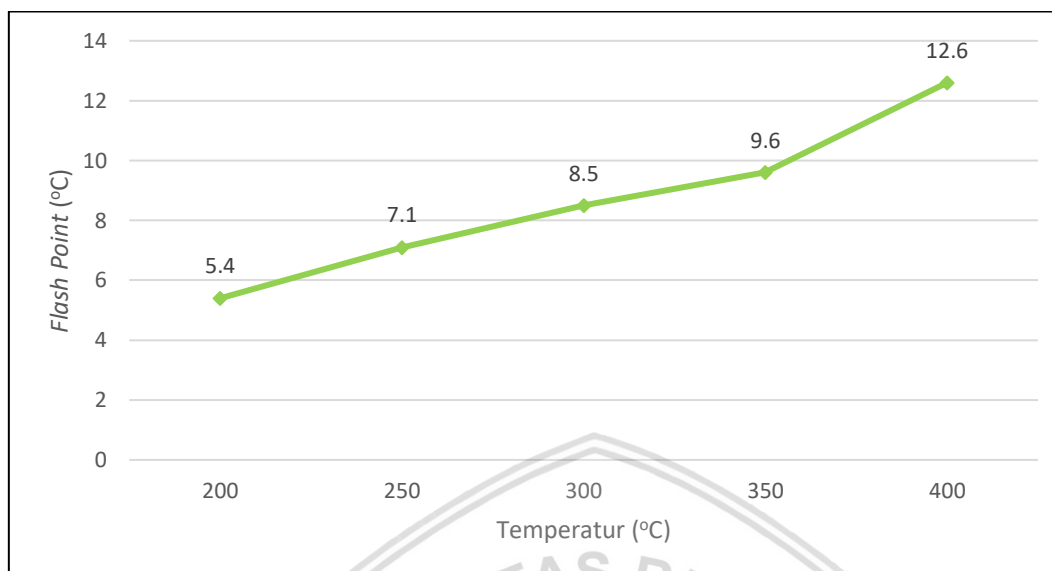
#### 4.4 Hubungan Temperatur Pirolisis Terhadap Viskositas Minyak Hasil Pirolisis



*Gambar 4.9* Grafik Pengaruh Temperatur Pirolisis terhadap Viskositas Minyak Hasil Pirolisis

Dari *gambar 4.9* dapat dilihat bahwa seiring meningkatnya temperatur pirolisis maka viskositas minyak hasil pirolisis juga akan meningkat. Meningkatnya temperatur pada proses pirolisis akan menghasilkan minyak yang memiliki nilai viskositas semakin besar. Hal itu disebabkan karena viskositas juga dipengaruhi oleh ikatan struktur kimia. Semakin panjang ikatan struktur kimianya maka nilai viskositas juga akan semakin besar (Endang, 2016). Semakin tinggi temperatur maka minyak yang dihasilkan juga akan memiliki ikatan struktur hidrokarbon yang lebih panjang sehingga nilai viskositas dari minyak hasil pirolisis juga akan semakin meningkat.

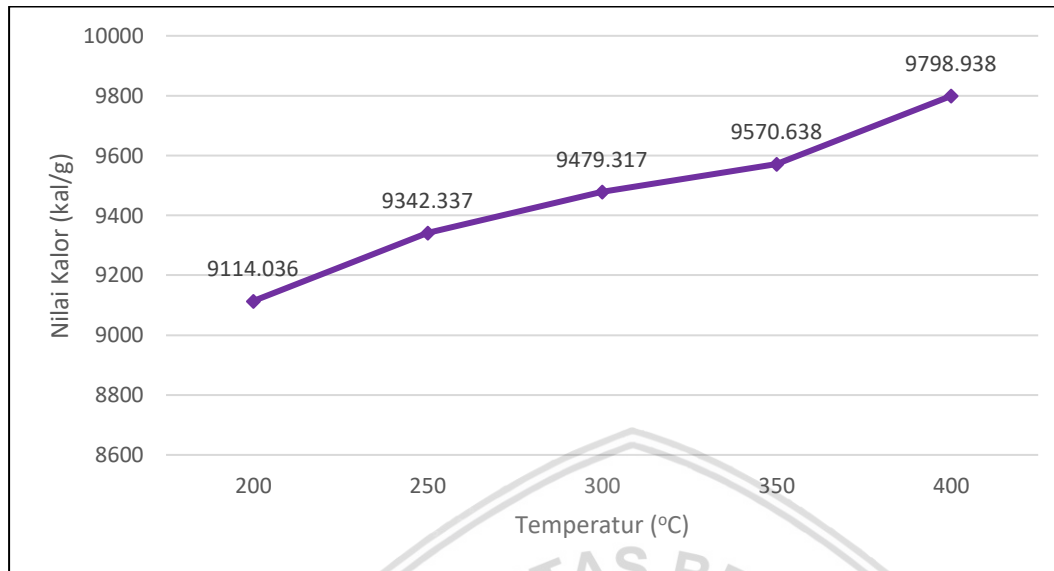
#### 4.5 Hubungan Temperatur Pirolisis Terhadap *Flash Point* Minyak Hasil Pirolisis



Gambar 4.10 Grafik Pengaruh Temperatur Pirolisis terhadap *Flash Point* Minyak Hasil Pirolisis

*Flash point* atau titik nyala api berhubungan dengan rantai karbon yang terkandung dalam minyak. Minyak yang memiliki rantai karbon semakin sederhana akan memiliki nilai *flash point* yang semakin rendah dikarenakan semakin sederhana rantai karbon yang tersusun maka minyak tersebut akan semakin mudah menguap (*volatile*). Pada gambar 4.10 dapat dilihat bahwa nilai *flash point* pada temperatur pirolisis 200°C sebesar 5,4°C, pada temperatur pirolisis 250°C sebesar 7,1°C, pada temperatur pirolisis 300°C sebesar 8,5°C, pada pirolisis 350°C sebesar 9,6°C, dan pada temperatur pirolisis 400°C sebesar 12,6°C. Dapat disimpulkan bahwa seiring meningkatnya temperatur pirolisis maka minyak yang dihasilkan memiliki nilai *flash point* yang semakin tinggi juga. Hal ini dikarenakan minyak hasil pirolisis pada temperatur yang rendah memiliki rantai karbon yang lebih sederhana dan begitu juga sebaliknya sehingga semakin meningkatnya temperatur maka nilai *flash point* minyak hasil pirolisis akan semakin meningkat juga.

#### 4.6 Hubungan Temperatur Pirolisis Terhadap Nilai Kalor Minyak Hasil Pirolisis



Gambar 4.11 Grafik Pengaruh Temperatur Pirolisis terhadap Nilai Kalor Minyak Hasil Pirolisis

Gambar 4.11 menunjukkan bahwa nilai kalor akan semakin meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur pirolisis. Kenaikan nilai kalor dipengaruhi oleh kandungan senyawa yang terdapat pada minyak itu sendiri. Semakin tinggi angka cetane suatu bahan bakar maka bahan bakar tersebut akan lebih mudah terbakar. *Polycyclic aromatic hydrocarbon* merupakan salah satu jenis senyawa yang dapat menambah angka *cetane* bahan bakar tersebut karena titik didihnya rendah dan densitasnya tinggi (Gao, 2010). Berdasarkan penelitian, didapat bahwa semakin meningkatnya temperatur maka densitasnya juga semakin tinggi. Hal tersebut dapat mengindikasikan bahwa kandungan *polycyclic aromatic hydrocarbon* juga bertambah sehingga nilai kalor minyak hasil pirolisis plastik LDPE juga ikut bertambah seiring meningkatnya temperatur pirolisis.

#### 4.7 Analisis Perbandingan Sifat Fisik Minyak Hasil Pirolisis dengan Sifat Fisik Gasoline, Kerosen, dan Diesel



Gambar 4.12 Minyak Hasil Pirolisis plastik LDPE

Gambar 4.12 menunjukkan minyak hasil pirolisis plastik LDPE tiap temperatur pemanasannya. Dari gambar dapat kita lihat bahwa minyak hasil pirolisis memiliki warna kuning jernih yang mirip dengan bahan bakar minyak komersial yang ada di pasaran. Untuk mengetahui apakah minyak hasil pirolisis layak digunakan sebagai bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar minyak komersial yang telah dipakai secara umum maka diperlukan analisis dengan cara membandingkan nilai sifat fisik minyak hasil pirolisis dengan sifat fisik bahan bakar minyak komersial. Sifat fisik BBM komersial yaitu sebagai berikut:

##### 1. Gasoline

- Nilai Kalor : 43,99 MJ/kg (Pertamina)
- Viskositas : 0,81-0,91 mm<sup>2</sup>/s
- Densitas : 0,715-0,77 g/cm<sup>3</sup> (Pertamina)
- *Flash Point* : -43°C (Bartok & Sarofim)

##### 2. Kerosen

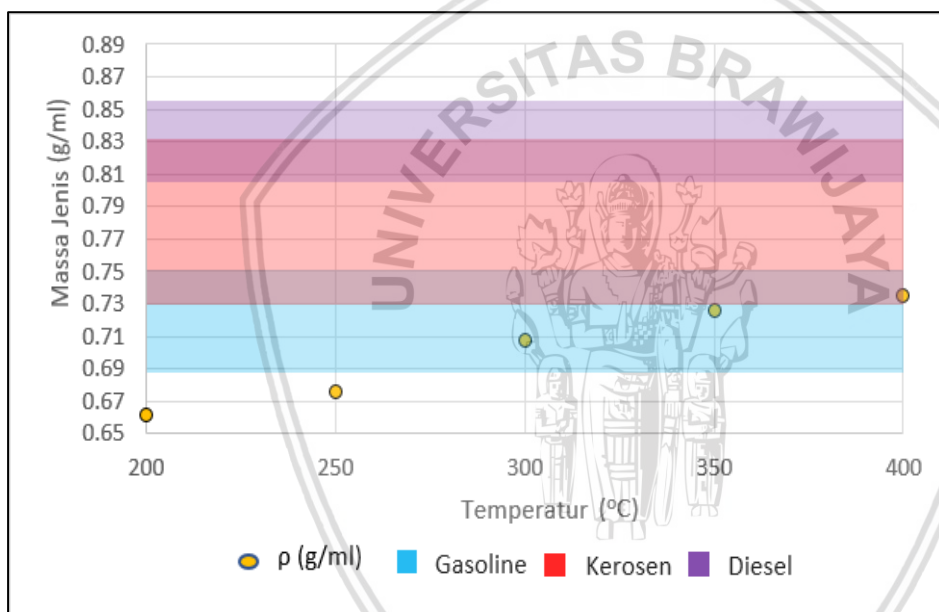
- Nilai Kalor : 42.8 MJ/kg (Bartok & Sarofim)

- Viskositas : 1,0-2,0 mm<sup>2</sup>/s (Kerosen BS SN)
- Densitas : 0,75-0,84 g/cm<sup>3</sup> (Kerosen BS SN)
- *Flash Point* : 38°C (Pertamina)

### 3. Diesel

- Nilai Kalor : 44,154 MJ/kg (Pertamina)
- Viskositas : 2,0-4,5 mm<sup>2</sup>/s (Pertamina)
- Densitas : 0,815-0,860 g/cm<sup>3</sup> (Pertamina)
- *Flash Point* : 52°C (Pertamina)

## 4.8 Analisis Massa Jenis Minyak Hasil Pirolisis dengan *Gasoline*, Kerosen, dan Diesel

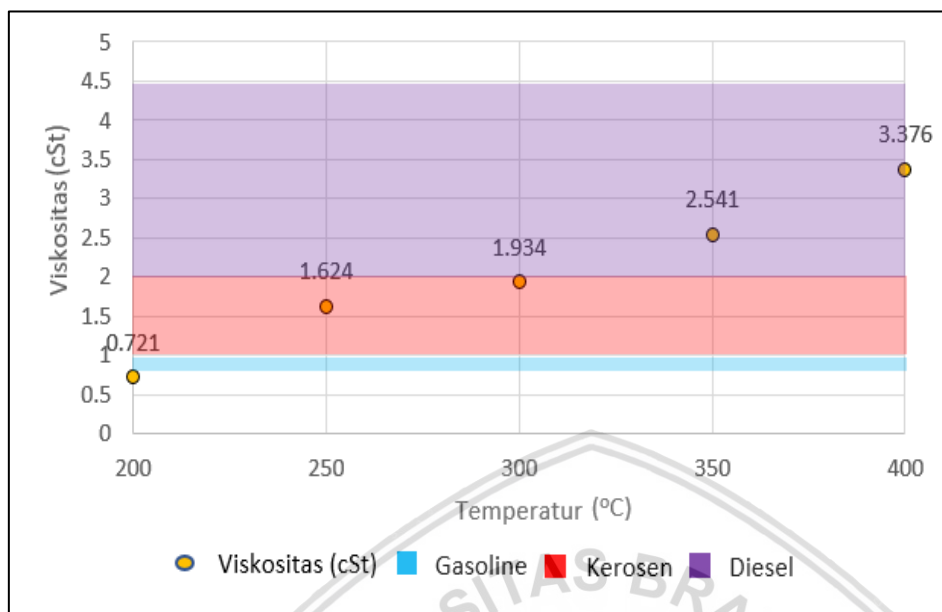


Gambar 4.13 Grafik Perbandingan Massa Jenis Minyak Hasil Pirolisis dengan BBM Komersial

Massa jenis minyak hasil pirolisis plastik LDPE mempunyai nilai yang hampir sama dengan massa jenis bahan bakar minyak komersial. *Gambar 4.13* menunjukkan perbandingan nilai massa jenis minyak hasil pirolisis dengan minyak komersial. Dapat dilihat bahwa densitas minyak hasil pirolisis pada temperatur 300°C senilai 0,708 g/ml dan 350°C senilai 0,726 g/ml memiliki nilai yang setara seperti massa jenis *gasoline* yaitu senilai 0,715-0,77 g/ml. Sedangkan massa jenis minyak hasil pirolisis pada temperatur 400°C senilai 0,735 g/ml memiliki nilai yang setara dengan 2 jenis bahan bakar minyak komersial yaitu *gasoline* dan kerosen.



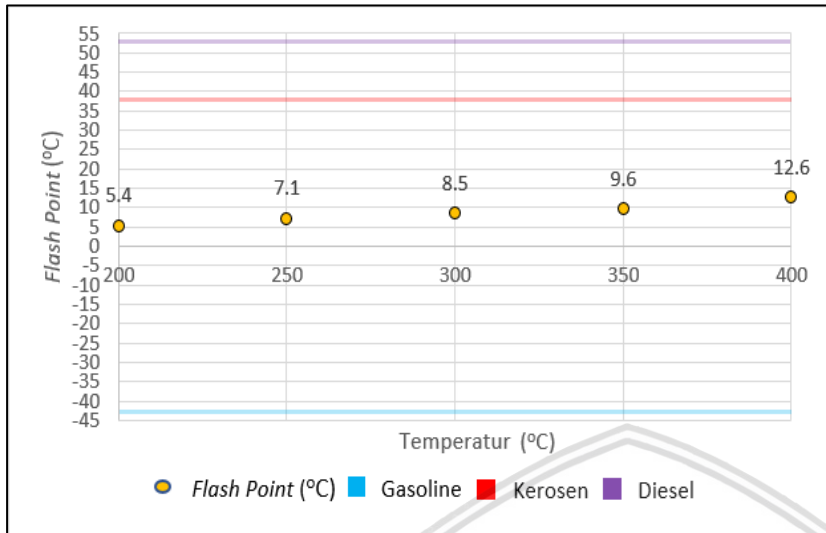
#### 4.9 Analisis Viskositas Minyak Hasil Pirolisis dengan *Gasoline*, *Kerosen*, dan *Diesel*



Gambar 4.14 Grafik Perbandingan Viskositas Minyak Hasil Pirolisis dengan BBM Komersial

Viskositas minyak hasil pirolisis plastik LDPE memiliki nilai yang sama dengan nilai viskositas BBM komersial di setiap temperaturnya kecuali nilai viskositas minyak hasil pirolisis pada temperatur 200°C yang memiliki nilai viskositas paling rendah dan lebih rendah dari viskositas *gasoline* yaitu senilai 0.721 cSt. Untuk nilai viskositas minyak hasil pirolisis pada temperatur 250°C dan 300°C masuk ke dalam rentang viskositas kerosen sedangkan minyak hasil pirolisis pada temperatur 350°C dan 400°C masuk ke dalam rentang viskositas diesel. Hal tersebut dapat dilihat pada gambar 4.14.

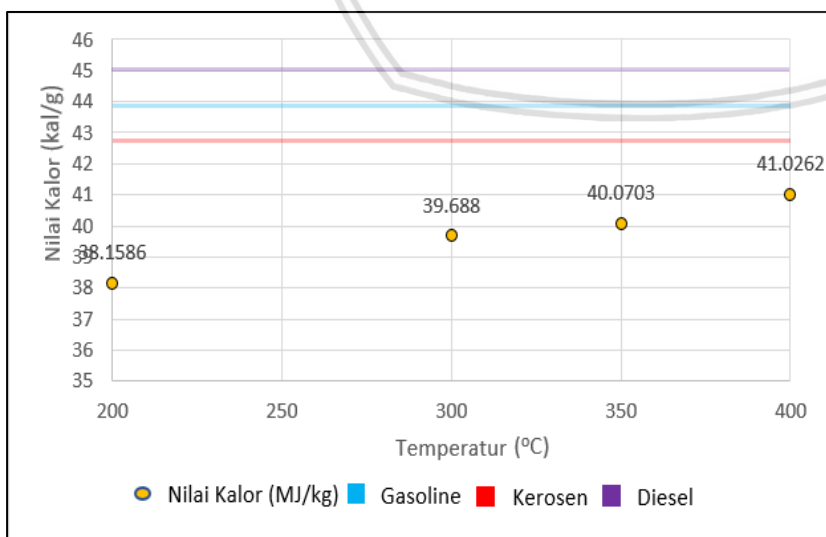
#### 4.10 Analisis *Flash Point* Minyak Hasil Pirolisis dengan *Gasoline*, *Kerosen*, dan *Diesel*



Gambar 4.15 Grafik Perbandingan *Flash Point* Minyak Hasil Pirolisis dengan BBM Komersial

Untuk nilai *flash point* minyak hasil pirolisis tidak ada yang mendekati dengan nilai *flash point* BBM komersial. Gambar 4.15 menunjukkan bahwa nilai *flash point* minyak hasil pirolisis berada jauh lebih rendah dibandingkan dengan kerosen dan diesel tetapi lebih tinggi dari gasoline.

#### 4.11 Analisis Nilai Kalor Minyak Hasil Pirolisis dengan *Gasoline*, *Kerosen*, dan *Diesel*



Gambar 4.16 Grafik Perbandingan Nilai Kalor Minyak Hasil Pirolisis dengan BBM Komersial

Nilai kalor dari minyak hasil pirolisis hanya ada satu yang mendekati dengan nilai kalor BBM komersial yaitu minyak hasil pirolisis pada temperatur 400°C sebesar 41.0262 MJ/kg. Nilai tersebut mendekati nilai kalor kerosen sebesar 42.8 MJ/kg. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada *gambar 4.16*.

Berdasarkan analisis di atas, minyak hasil pirolisis belum sepenuhnya memiliki nilai sifat fisik yang sama dengan nilai sifat fisik BBM komersial. Hal ini berarti minyak hasil pirolisis masih merupakan bahan bakar campuran dan diperlukan pemurnian lebih lanjut agar dapat mempunyai nilai sifat fisik yang lebih spesifik dan sama dengan nilai sifat fisik bahan bakar komersial. Salah satu cara pemurnian yang dapat dilakukan yaitu dengan cara distilasi fraksional (Fatimah, 2003).





## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil dan pembahasan dari penelitian ini dapat ditarik kesimpulan bahwa:

1. Semakin tinggi temperatur pirolisis akan menghasilkan minyak hasil pirolisis semakin banyak sampai pada temperatur tertentu lalu akan menurun dikarenakan semakin banyaknya gas yang tidak dapat terkondensasi yang dihasilkan pada temperatur pirolisis yang tertinggi.
2. Hasil minyak terbanyak ada pada proses pirolisis dengan temperatur pemanasan optimum yaitu pada temperatur 350°C sebanyak 309,23 ml.
3. Semakin tinggi temperatur pirolisis mengakibatkan massa jenis, viskositas, *flash point*, dan nilai kalor minyak hasil pirolisis akan semakin meningkat.
4. Minyak hasil pirolisis plastik jenis LDPE pada temperatur pemanasan 300°C, 350°C, dan 400°C memiliki nilai massa jenis yang tidak jauh berbeda dengan bahan bakar minyak komersial seperti bensin dan kerosen.
5. Minyak hasil pirolisis plastik jenis LDPE pada temperatur pemanasan 200°C memiliki nilai viskositas yang tidak jauh berbeda dengan nilai viskositas bensin. Sedangkan minyak hasil pirolisis plastik jenis LDPE pada temperatur pemanasan 300°C dan 350°C memiliki nilai viskositas yang sama dengan viskositas kerosen dan minyak hasil pirolisis plastik jenis LDPE pada temperatur pemanasan 400°C memiliki nilai viskositas yang sama dengan diesel.

#### 5.2 Saran

1. Diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai sifat dan karakteristik minyak hasil pirolisis plastik LDPE pada temperatur optimum pirolisis.
2. Diperlukan penelitian mengenai pemurnian minyak hasil pirolisis melalui proses distilasi fraksional.



## DAFTAR PUSTAKA

- Angeira, C. S. (2008). *Hydrocarbons Thermal Cracking Selectivity Depending on Their Structure and Cracking Parameters*. Prague: Institute of Chemical Technology Prague
- Aprian, R. P. (2011). *Pengolahan Sampah Plastik Menjadi Minyak Menggunakan Proses Pirolisis*. Jawa Timur: Universitas Pembangunan Nasional "Veteran"
- Ashraf, A. (2012). *Distillation Process of Crude Oil*. Qatar: Qatar University
- Basu, P. (2010). *Biomass Gasification and Pyrolysis*. Oxford: Elsevier Inc.
- Bridgewater, A. V. (2004). *Biomass Fast Pyrolysis*. *Therm. Sci.* 2004, 8, 21–49.
- Dirjen Pengelola Sampah, Limbah, dan B3 LHK. (2015). *Laporan Tahunan 2015*. Jakarta Timur: Dirjen Pengelola Sampah, Limbah, dan B3 LHK
- Endang K. (2016). *Pengolahan Sampah Plastik dengan Metoda Pirolisis menjadi Bahan Bakar Minyak*. Bandung: Politeknik Negeri Bandung
- Fatimah Zuhra, C. (2003). *Penyulingan, Pemrosesan, dan Penggunaan Minyak Bumi*. Sumatera Utara: Jurusan Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Sumatera Utara
- Gao, Feng. 2010. *Pyrolysis of Waste Plastics into Fuels*. University of Canterbury
- Gary, J.G., Handwerk, G.E., and Kaiser, M.J. (2007). *Petroleum Refining: Technology and Economics, 5th Edition*. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL.
- Gowariker, V. R. (1986). *Polymer Science*. New Delhi: New Age International (P) Ltd.
- Hermono, Ulli. (2009). *Inspirasi dari Limbah Plastik*. Kawan Pustaka. Jakarta.
- Hsu, C.S., and Robinson, P.R. (Editors) 2006. *Practical Advances in Petroleum Processing*. Volumes 1 and 2. Springer Science, New York.
- Jahirul, M. I. (2012). *Biofuels Production through Biomass Pyrolysis*. *Energies*. Australia: Central Queensland University
- Jambeck, Jenna R. (2015). *Plastic Waste Inputs from Land Into The Ocean*. Athens: University of Georgia
- Moavenzadeh, Taylor, 1995. *Recycling and Plastics*. Center for Construction Research and Education Department of Civil and Environmental Engineering Massachusetts Institute of Technology . Cambridge. Massachusetts, USA.
- Mosio-Mosiewski, et. al. (2007). *High-pressure catalytic and thermal cracking of polyethylene*. Institute of Heavy Organic Synthesis Kedzierzyn-Kozle. Poland
- Mustofa K, D. (2014). *Pirolisis Sampah Plastik Hingga Suhu 900°C Sebagai Upaya Menghasilkan Bahan Bakar Ramah Lingkungan*. Jakarta: Politeknik Negeri Jakarta
- Prasetyo, H. (2015). *Mesin Pengolah Limbah Menjadi Bahan Bakar Alternatif*. Semarang: Universitas Negeri Semarang
- Peacock, Andrew J. (2006). *Polymer Chemistry Properties and Applications*. Munich: Hanser Publishers

- Rachmawati, Q. (2015). Pengolahan Sampah secara Pirolisis dengan Variasi Rasio Komposisi Sampah dan Jenis Plastik. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Rajagukguk, J. R. (2018). *The analysis of quantitative methods for renewable fuel processes and lubricant of materials derived from plastic waste*. Jakarta: Universitas Krisnadwipayana
- Rosato, Dominick V. (2004). *Plastic Product Material and Process Selection Handbook*. Oxford: Elsevier Advanced Technology
- Sahwan, Firman L. (2005). Sistem Pengelolaan Limbah Plastik Di Indonesia. Tek. Ling. P3TL-BPPT. 6. (1): 311-318
- Scheirs, J. (2006). *Feedstock Recycling and Pyrolysis of Waste Plastics: Converting Waste Plastics into Diesel and Other Fuels*. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd.
- Sharuddin, F. A. (2016). *A Review on Pyrolysis of Plastic Waste. Energy Conversion and Management*. Malaysia: University of Malaya
- Shihadeh, A.; Hochgreb, S. *Diesel engine combustion of biomass pyrolysis oils*. *Energy Fuels*. **2000**, *14*, 260–274.
- Sofiana, Y. (2010). Pemanfaatan Limbah Plastik Sebagai Alternatif Bahan Pelapis Pada Produk Interior.
- Sparkman, D. (2011). *Gas Chromatography and Mass Spectrometry*. Oxford: Elsevier Inc.
- Speight, J.G., and Ozum, B. 2002. *Petroleum Refining Processes*. Marcel Dekker Inc., New York.
- Speight, J. G. (2015). *Handbook of Petroleum Product Analysis*. New Jersey: John Wiley & Sons Inc.
- Trisunaryanti, Wega. *Dari Sampah Plastik Menjadi Bensin & Solar*. Yogyakarta: UGM Press
- Wiratmaja, I. G. (2010). Pengujian Karakteristik Fisika Biogasoline Sebagai Bahan Bakar Alternatif Pengganti Bensin Murni.
- Yunus A. Cengel, J. M. (2006). *Fluid Mechanics Fundamentals and Applications*. New York: McGraw-Hill.