

PENGOLAHAN LIMBAH PLASTIK LDPE MENJADI BAHAN BAKAR CAIR DENGAN *CATALYTIC CRACKING*

Laporan Penelitian

Disusun untuk memenuhi tugas akhir guna mencapai gelar
sarjana di bidang ilmu Teknik Kimia

Oleh :

Farhan Azka Fadillah

(2017620134)

Felicia Tjandra

(2017620135)

Pembimbing :

Tedi Hudaya S.T., M.Eng.Sc.,Ph.D

Dr. Jenny Novianti M. Soetedjo, S.T., M.Sc.



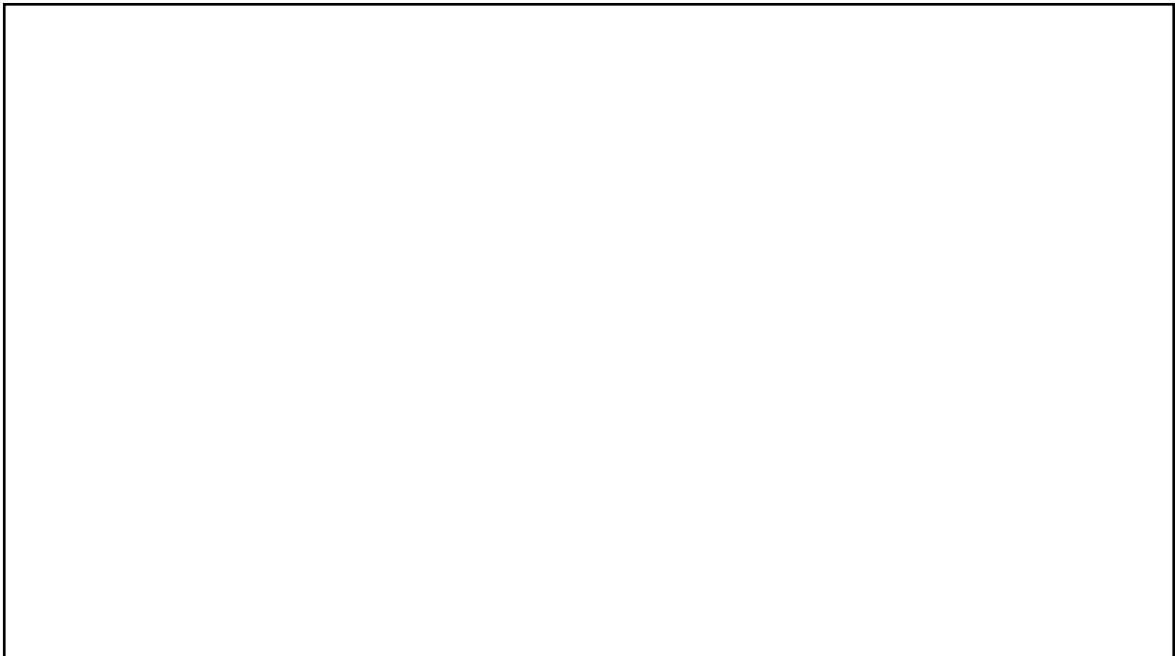
**PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN**

2021

LEMBAR PENGESAHAN

**JUDUL : Pengolahan Limbah Plastik LDPE Menjadi Bahan Bakar Cair dengan
*Catalytic Cracking***

CATATAN :

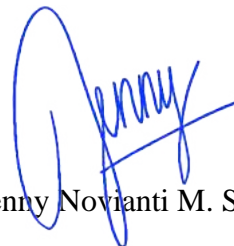


Telah diperiksa dan
disetujui Bandung, 17
Februari 2021

Pembimbing



Tedi Hudaya S.T., M.Eng.Sc.,Ph.D

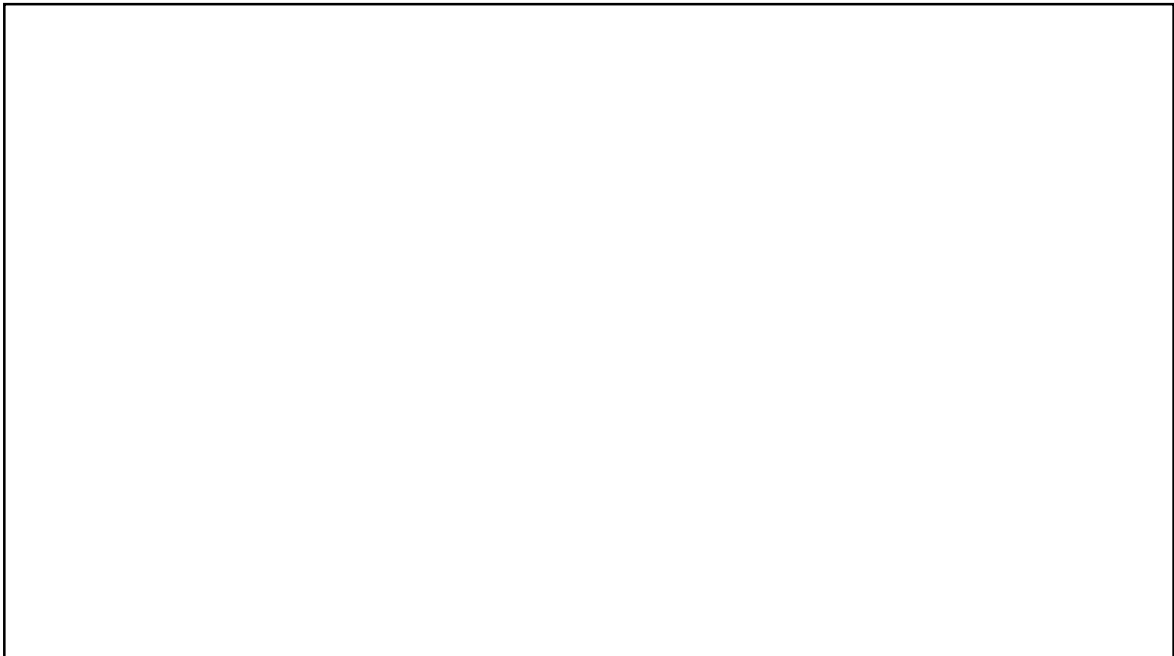


Dr. Jenny Novianti M. Soetedjo, S.T., M.Sc.

LEMBAR REVISI

**JUDUL : Pengolahan Limbah Plastik LDPE Menjadi Bahan Bakar Cair dengan
*Catalytic Cracking***

CATATAN :



Telah diperiksa dan
disetujui Bandung, 17
Februari 2021

Penguji



Tony Handoko, S.T., M.T.



Dr. Angela Justina Kumalaputri, S.T., M.T



PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Farhan Azka Fadillah

NPM : 2017620134

Dengan ini menyatakan bahwa laporan penelitian dengan judul:

Pengolahan Limbah Plastik LDPE Menjadi Bahan Bakar Cair dengan *Catalytic Cracking*

adalah hasil pekerjaan saya dan seluruh ide, pendapat, atau materi dari sumber lain telah dikutip dengan cara penulisan referensi yang sesuai.

Pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya dan jika pernyataan ini tidak sesuai dengan kenyataan, maka saya bersedia menanggung sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Bandung, 28 Februari 2021



Farhan Azka Fadillah
(2017620134)

INTISARI

Limbah plastik merupakan masalah yang terjadi di dunia termasuk juga Indonesia. Indonesia menyumbang limbah plastik sebanyak 66-67 juta ton per tahunnya. Angka 66-67 juta ton ini menempatkan Indonesia sebagai negara penghasil sampah terbanyak kedua setelah negara Cina yang berada pada posisi pertama. Jenis plastik terbanyak yang ditemukan adalah jenis polietilen. Polietilen ini dibagi menjadi beberapa jenis di antaranya adalah *High Density Polyethylene* (HDPE), *Linear Low Density Polyethylene* (LLDPE), dan *Low Density Polyethylene* (LDPE). Limbah LDPE yang ada dapat diolah untuk menghasilkan produk yang memiliki nilai ekonomis. Pada penelitian ini limbah LDPE akan digunakan untuk membuat bahan bakar cair.

Penelitian ini bertujuan untuk mengonversi limbah LDPE menjadi bahan bakar cair. Harga bahan bakar yang mengalami peningkatan setiap tahunnya dan cadangan minyak dunia yang makin menipis dapat diatasi dengan memperoleh bahan bakar cair dari limbah LDPE. Selain itu, jumlah limbah LDPE juga akan berkurang dan mengurangi permasalahan sampah di Indonesia.

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode pirolisis. Pirolisis LDPE akan dilakukan dalam reaktor *batch* dengan pelarut kerosene dan menggunakan katalis. *Purging* akan dilakukan pada temperatur 110 °C untuk menghilangkan oksigen dan dilanjutkan dengan menaikkan temperatur sesuai dengan variasi temperatur 250 °C dan 295 °C. Variasi katalis yang digunakan adalah ZSM-5, SiO₂, dan Bentonit dan ditingkatkan keasamannya dengan impregnasi. Proses pirolisis berlangsung selama 2 jam dengan % *loading* katalis 0,83 %. Variasi katalis yang terbaik dengan menggunakan ZSM-5 dan untuk variasi temperatur 295 °C merupakan temperatur yang cukup baik untuk ZSM-5 dan 250 °C temperatur yang cukup baik untuk katalis SiO₂. Peningkatan keasaman katalis tidak mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap hasil perolehan. Hasil perhitungan viskositas dan densitas untuk semua variasi sudah memasuki standar viskositas dan densitas bahan bakar di antaranya adalah solar dan bensin.

Kata kunci : limbah plastik, LDPE, pirolisis, bahan bakar cair, temperatur, katalis

ABSTRACT

Plastic waste is a problem that occurs in the world including Indonesia. Indonesia contributes 66-67 million tons of plastic waste per year. This figure of 66-67 million tons make Indonesia as the second largest waste producer after China, which is in the first position. The most common type of plastic found is polyethylene. Polyethylene is divided into several types such as High Density Polyethylene (HDPE), Linear Low Density Polyethylene (LLDPE), and Low Density Polyethylene (LDPE). Existing LDPE waste can be processed to produce products that have economic value. In this research, LDPE waste will be used to make liquid fuel.

This experiment aims to convert LDPE waste into liquid fuel. The price of fuel, which has increased every year and the depleting world oil reserves, can be overcome by obtaining liquid fuel from LDPE waste. In addition, the amount of LDPE waste will also decrease and reduce the waste problem in Indonesia.

This experiment was carried out with pyrolysis method. LDPE pyrolysis will be carried out in a batch reactor with kerosene solvent and using a catalyst. Purging will be carried out at a temperature of 110 ° C to remove oxygen and followed by increasing the temperature according to temperature variations of 250 ° C and 295 ° C. The various catalysts used were ZSM-5, SiO₂, and Bentonite and their acidity was increased by impregnation. The pyrolysis process lasts for 2 hours with 0,83 % catalyst loading. The best variation of the catalyst using ZSM-5 and for the temperature variation of 295 ° C is a good enough temperature for ZSM-5 and 250 ° C which is good enough for the SiO₂ catalyst. The increase in the acidity of the catalyst did not have a significant effect on the yield. The results of viscosity and density calculations for all variations have entered the viscosity and density standards for fuels, including diesel and gasoline.

Key words: plastic waste, LDPE, pyrolysis, liquid fuel, temperature, catalyst

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan penelitian dengan judul “Pengolahan Limbah Plastik LDPE Menjadi Bahan Bakar Cair dengan *Catalytic Cracking*” tepat pada waktunya. Selain itu, laporan ini digunakan untuk memenuhi tugas akhir dalam mencapai gelar sarjana di Teknik Kimia Univeritas Katolik Parahyangan.

Dalam penulisan laporan ini, penulis mendapat berbagai bantuan dukungan dari berbagai pihak. Dukungan yang diberikan berupa dukungan material dan non material. Oleh karena itu, penulis secara khusus ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Tedi Hudaya S.T., M.Eng.Sc.,Ph.D selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dan mengarahkan penulis dalam penyusunan laporan penelitian ini.
2. Dr. Jenny Novianti M. Soetedjo, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dan mengarahkan penulis dalam penyusunan laporan penelitian ini.
3. Orang tua dan keluarga penulis atas doa dan dukungannya.
4. Teman-teman yang telah memberikan dukungan dan masukan kepada penulis selama proses penulisan laporan penelitian.
5. Pihak-pihak lain yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, yang telah membantu penulis baik secara langsung maupun tidak langsung.

Penulis menyadari bahwa dalam laporan penelitian ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca. Akhir kata, penulis berharap agar laporan penelitian ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Bandung, 17 Februari 2021

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN	iii
LEMBAR REVISI.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL	xi
INTISARI.....	xii
ABSTRACT	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tema Sentral Masalah	4
1.3 Identifikasi Masalah	4
1.4 Premis	6
1.5 Hipotesis	7
1.6 Tujuan Penelitian.....	7
1.7 Manfaat Penelitian.....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Limbah.....	9
2.1.1 Limbah Domestik	9
2.1.2 Limbah Non Domestik	9
2.2 Limbah Plastik	9
2.2.1 Limbah Plastik Industri	10
2.2.2 Limbah Plastik Domestik	10
2.3 Plastik	10

2.4 Polimer.....	12
2.4.1 Polimerisasi dan Mekanisme Reaksinya	16
2.5 Metode Pengolahan Limbah.....	18
2.6 Mekanisme Pengolahan <i>Low Density Pilyetyhlene</i> (LDPE)	21
2.6.1 Pirolisis (<i>Thermal Cracking</i>).....	21
2.6.2 Mekanisme Pirolisis	23
2.6.3 Faktor yang Mempengaruhi Pirolisis	25
2.6.3.1 Komposisi Kimia Bahan.....	25
2.6.3.2 Temperatur dan Laju Pemanasan	26
2.6.3.3 Tekanan Operasi	27
2.6.3.4 Waktu Tinggal	27
2.6.3.5 Penggunaan Katalis	28
2.6.4 Produk Hasil Pirolisis	30
2.6.5 Pirolisis Termal (<i>Thermal Cracking</i>)	32
2.6.6 Pirolisis Katalitik (<i>Catalytic Cracking</i>).....	32
2.6.6.1 Mekanisme <i>Catalytic Cracking</i>	34

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Bahan	35
3.2 Alat	35
3.3 Prosedur Penelitian	36
3.3.1 Pengasaman (Impregnasi Basah) Katalis	36
3.3.2 Proses Pirolisis.....	37
3.4 Analisis	37
3.5 Lokasi dan Jadwal Kerja Praktikum	39

BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Katalis terhadap Produk Pirolisis Plastik LDPE	40
4.2 Pengaruh Temperatur terhadap Produk Pirolisis Plastik LDPE	44

4.3 Pengaruh Keasaman Katalis terhadap Produk Pirolisis Plastik LDP	46
4.4 Pengaruh Variasi terhadap Nilai Densitas dan Viskositas.....	49
4.5 Analisa Nilai Smoke Point	52
4.6 Analisa GC-MS	53
4.7 Analisa Nilai Kalor	55
4.8 Analisa Titik Leleh Padatan	55
4.9 Analisa Tingkat Keasaman Katalis.....	56
4.10 Perbandingan <i>Catalytic Cracking</i> Tanpa Menggunakan Pelarut	57
BAB V KESIMPULAN & SARAN	
5.1 Kesimpulan.....	59
5.2 Saran	59
DAFTAR PUSTAKA.....	60
LAMPIRAN A : <i>MATERIAL SAFETY DATA SHEET</i> (MSDS)	65
LAMPIRAN B: ANALISIS PRODUK.....	73
LAMPIRAN C: GRAFIK.....	75
LAMPIRAN D: HASIL PENGAMATAN.....	81
LAMPIRAN E: CONTOH PERHITUNGAN.....	82

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Negara Penyumbang Limbah Plastik Terbanyak di Dunia.....	1
Gambar 1.2 Limbah Plastik pada Sektor Industri.....	2
Gambar 1.3 Komposisi Produksi Polimer pada Limbah Plastik	3
Gambar 2.1 Struktur HDPE.....	14
Gambar 2.2 Struktur LDPE	15
Gambar 2.3 Polimerisasi Etilen menjadi Polietilen	16
Gambar 2.4 Reaksi Tahap Inisiasi	17
Gambar 2.5 Reaksi Tahap Propagasi.....	17
Gambar 2.6 Reaksi Tahap Terminasi	18
Gambar 2.7 Reaksi Tahap <i>Branching</i>	18
Gambar 2.8 Hierarki Pengolahan Limbah	19
Gambar 2.9 Reaksi Pirolisis secara Umum	21
Gambar 2.10 Pemecahan Secara Acak pada Pirolisis	23
Gambar 2.11 Pemecahan di Ujung Rantai pada Pirolisis	23
Gambar 2.12 Reaksi Pemotongan β pada Badan Rantai	23
Gambar 2.13 Reaksi Pemotongan β pada Ujung Rantai.....	24
Gambar 2.14 Transfer Rantai Hidrogen Perpindahan Hidrogen Intermolekular Ujung	24
Gambar 2.15 Transfer Rantai Hidrogen Intermolekular Tengah.....	24
Gambar 2.16 Transfer Rantai Hidrogen Intramolekular.....	25
Gambar 2.17 Reaksi Terminasi atau Kombinasi Radikal Gambar.....	25

Gambar 2.18 Reaksi Catalytic Cracking tahapan inisiasi.....	34
Gambar 2.19 Reaksi <i>cracking</i> via <i>beta-scission</i>	34
Gambar 2.20 <i>Rearrangement</i> atau reaksi isomerisasi.....	34
Gambar 3.1 Reaktor <i>Batch</i>	35
Gambar 3.2 Timbangan Analitik	36
Gambar 3.3 <i>Hot Plate</i>	36
Gambar 3.4 Diagram Alir Proses Pirolisis	37
Gambar 4.1 Grafik % <i>Yield</i> terhadap Jenis Katalis pada Temperatur 250 °C.....	41
Gambar 4.2 Grafik % <i>Yield</i> terhadap Jenis Katalis pada Temperatur 295 °C.....	42
Gambar 4.3 Grafik % <i>Yield</i> terhadap Temperatur pada katalis ZSM-5.....	45
Gambar 4.4 Grafik % <i>Yield</i> terhadap Temperatur pada katalis SiO ₂	45
Gambar 4.5 Grafik % <i>Yield</i> terhadap Jenis Katalis ZSM-5 pada temperatur 250 °C dan 295 °C (a) tanpa perilaku asam (kiri) dan (b) dengan perilaku asam (kanan)	47
Gambar 4.6 Grafik % <i>Yield</i> terhadap Jenis Katalis SiO ₂ pada temperatur 250 °C dan 295 °C (a) tanpa perilaku asam (kiri) dan (b) dengan perilaku asam (kanan)	47
Gambar 4.7 Grafik % <i>Yield</i> terhadap Jenis Katalis dengan perilaku asam.....	48
Gambar 4.8 Grafik Viskositas dari run 1 s.d. 4 (tanpa perilaku asam)	49
Gambar 4.9 Grafik Viskositas dari run 5 s.d. 7 (dengan perilaku asam)	49
Gambar 4.10 Grafik Densitas dari run 1 s.d. 4 (tanpa perilaku asam)	50
Gambar 4.11 Grafik Densitas dari run 5 s.d. 8 (dengan perilaku asam).....	51
Gambar 4.12 Grafik Analisa GC-MS.....	54
Gambar 4.13 Perbandingan hasil dari pirolisis dengan katalis (a) SiO ₂ (kiri) dan (b) SiO ₂ yang diasamkan (kanan).....	57
Gambar 4.12 Run Catalytic Cracking tanpa menggunakan pelarut.....	57

DAFTAR TABEL

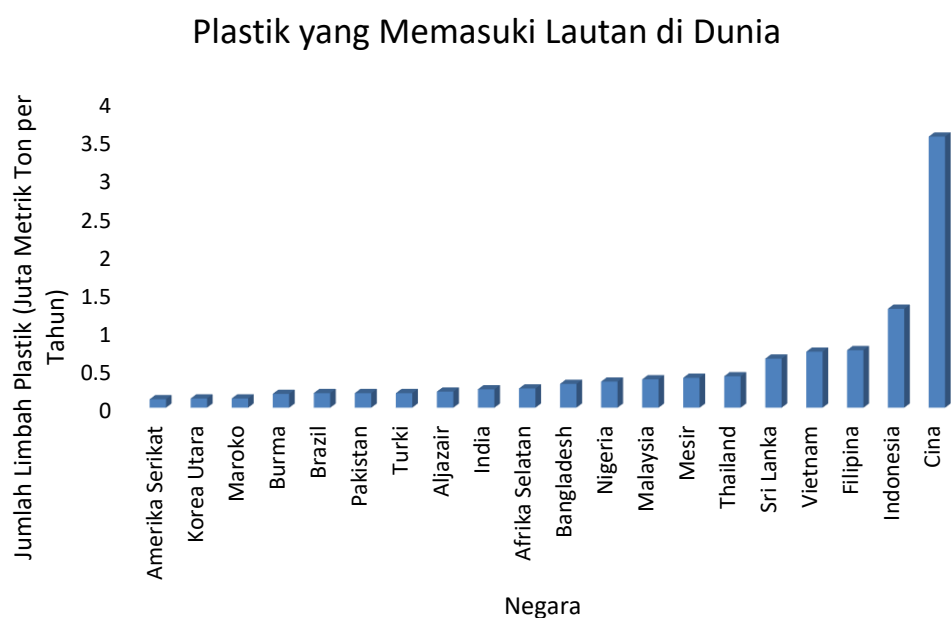
Tabel 1.1 Tabel Premis <i>Yield</i> Pirolisis.....	6
Tabel 2.1 Nomor Resin Produk Plastik	15
Tabel 2.2 Parameter Operasi dari Proses Pirolisis	22
Tabel 3.1 Metode Analisis Produk Cair Pirolisis	38
Tabel 3.2 Rancangan Percobaan Hasil Pirolisis tanpa Pengasaman Katalis	39
Tabel 3.3 Rancangan Percobaan Hasil Pirolisis dengan Pengasaman Katalis	39
Tabel 3.4 Rencana Kerja Penelitian	37
Tabel 4.1 Pengaruh Variasi Jenis Katalis terhadap Perolehan Produk	41
Tabel 4.2 Hasil Variasi Jenis Katalis.....	41
Tabel 4.3 Karakteristik Katalis.....	43
Tabel 4.4 Pengaruh Variasi Temperatur terhadap Perolehan Produk.....	44
Tabel 4.5 Variasi Temperatur	44
Tabel 4.6 Variasi Keasaman Katalis	46
Tabel 4.7 Nilai <i>Smoke Point</i>	52
Tabel 4.8 Analisa GC-MS.....	54
Tabel 4.9 Nilai Kalor Berbagai Jenis Bahan Bakar.....	55
Tabel 4.10 Tingkat Keasaman Katalis.....	56

BAB I

PENDAHULUAN

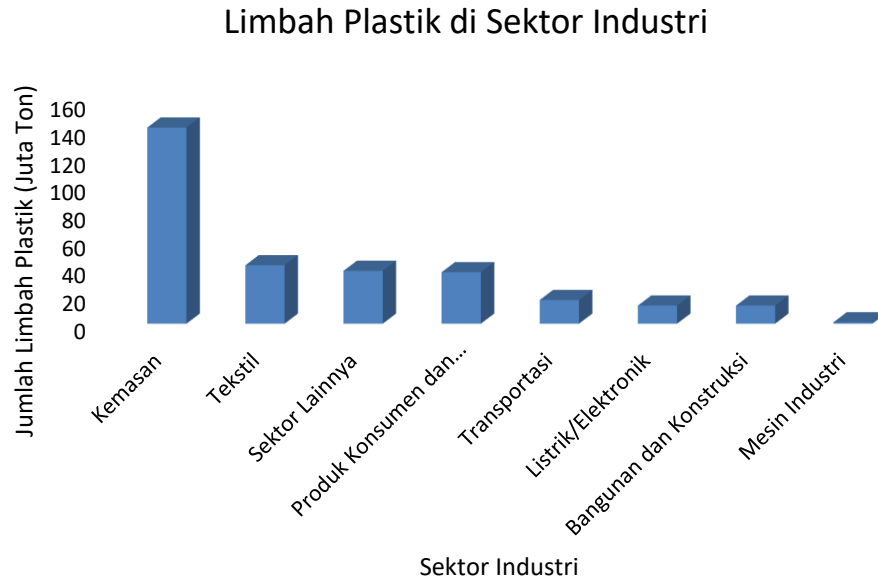
1.1 Latar Belakang

Pada tahun 2018 hingga akhir tahun 2019 tercatat Indonesia merupakan negara penghasil limbah plastik ke-2 terbanyak di dunia setelah Cina yang menempati urutan pertama. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 1.1. Berdasarkan data yang didapat dari Asosiasi Industri Plastik Indonesia (INAPLAS) dan Badan Pusat Statistik (BPS), Indonesia tercatat menyumbang limbah plastik sebanyak 64 juta ton per tahunnya. Total jumlah limbah tersebut 3,2 juta tonnya merupakan limbah plastik yang dibuang ke lautan dan sebanyak 85.000 ton adalah kantong plastik (Puspita, 2018; Bahrul, 2019).



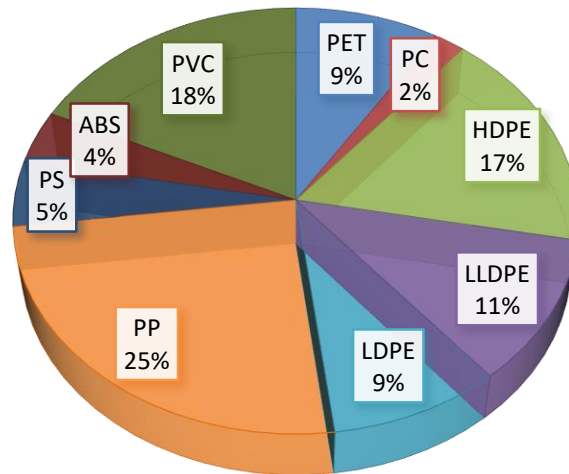
Gambar 1.1 Negara Penyumbang Limbah Plastik Terbanyak di Dunia (Jenna,2015/<https://www.zmescience.com/ecology/pollution-ecology/dumping-plastic-13022015/>)

Menurut *Our World in Data*, meningkatnya jumlah limbah plastik setiap tahunnya berasal dari sektor industri, dimana yang paling banyak digunakan untuk *packaging* atau pengemasan dan dalam posisi kedua digunakan untuk pembangunan atau konstruksi (Ritchie et al., 2018). Hal ini dapat dilihat pada Gambar 1.2.



Gambar 1.2 Limbah Plastik pada Sektor Industri di dunia (sumber : <https://ourworldindata.org/plastic-pollution>)

Berdasarkan studi literatur, jenis polimer pada limbah plastik yang ditemukan dengan tingkat penggunaan tertinggi (untuk *packaging* atau pengemasan, konstruksi, dan kesehatan) adalah polietilen. Polietilen yang ditemukan dalam limbah plastik berdasarkan studi literatur yaitu sekitar 37 % dan sekitar 23 % dari total limbah plastik di dunia adalah jenis plastik polietilen (Geyer et al., 2017) .



Gambar 1.3 Komposisi Polimer pada Limbah Plastik (Shamiri & Chakrabarti, 2014)

Keterangan:

PET = *Polyethylene terephthalate*, PC = *Polycarbonate*, HDPE = *High Density Polyethylene*, LLDPE = *Linear Low Density Polyethylene*, LDPE = *Low Density Polyethylene*, PP = *Polypropylene*, PS = *Polystyrene*, ABS = *Acrylonirile Butadiene Styrene*, dan PVC = *Polyvinylchloride*.

Dapat dilihat pada Gambar 1.3 jenis polimer yang banyak digunakan. Polimer-polimer tersebut dapat didaur ulang, seperti limbah jenis polistirena, polipropilen, ABS dan PET. Contoh limbah polistirena yang dapat diolah dan digunakan kembali adalah *styrofoam*. Contoh dari limbah PET seperti isolasi listrik dapat didaur ulang, hanya saja jumlah limbahnya cukup banyak, sementara untuk mendaur ulang limbah PET tidak efisien dan ekonomis. Polivinil klorida seperti pipa merupakan salah satu jenis plastik yang sulit untuk didaur ulang karena mengandung klorin (Sharuddin et al., 2016). Selain itu pada Gambar 1.3 produksi jenis polimer polietilen mempunyai komposisi produksi yang paling tinggi. Limbah polietilen ini dibagi menjadi tiga, yaitu HDPE, LLDPE, dan LDPE.

Meningkatnya limbah plastik LDPE setiap tahunnya yang merugikan lingkungan dan ekosistem akan berdampak semakin buruk apabila tidak ditemukan cara untuk

menanganinya. Selain jumlah limbah plastik yang meningkat setiap tahunnya, cadangan minyak di Indonesia pada tahun 2019 tercatat hanya tersisa untuk 10 tahun ke depan, yakni sekitar 3,17 miliar barel. Hal ini menimbulkan terjadinya peningkatan harga bahan bakar minyak. Pada tahun 2018 harga Bahan Bakar Minyak (BBM) tipe Pertamina adalah sekitar Rp 8.600,00 dan pada tahun 2019 naik menjadi Rp10.200,00 di Pulau Jawa. Kenaikan harga BBM tersebut cukup signifikan hanya dalam kurun waktu 1 tahun (Arvirianty, 2019).

Produksi plastik LDPE yang digunakan untuk pengemasan menyebabkan meningkatnya limbah plastik LDPE. Meningkatnya limbah plastik LDPE menyebabkan permasalahan pada lingkungan. Hal ini dikarenakan LDPE tidak tahan terhadap tekanan dan temperatur tinggi dan memerlukan waktu yang sangat lama untuk terurai. Permasalahan meningkatnya produksi limbah plastik LDPE dan harga BBM setiap tahunnya membuat penelitian ini penting untuk dilakukan. Penelitian ini dilakukan bertujuan untuk mendapatkan minyak dari LDPE (Plastindo, 2019).

1.2 Tema Sentral Masalah

Pemaanfaatan dan daur ulang limbah plastik LDPE yang tidak tersentuh oleh masyarakat merupakan masalah yang masih kurang diatasi oleh pemerintah. Sebanyak 90 % limbah yang termasuk limbah plastik diolah dengan dibakar untuk menghasilkan energi panas yang dapat digunakan sebagai sumber listrik (Subramanian, 2000). Pembakaran limbah LDPE akan berbahaya apabila pembakarannya tidak sempurna karena dapat menghasilkan dioksin yang berbahaya bagi makhluk hidup dan lingkungan. Cara ini kurang efektif dalam mengatasi masalah limbah plastik LDPE. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan metode pirolisis dengan katalis. Pada penelitian ini akan terjadi *catalytic cracking* untuk mendapatkan *yield* produk cair yang lebih banyak dengan variasi temperatur. Selain itu, dilakukan peningkatan keasaman katalis untuk mendapatkan *yield* produk cair yang lebih banyak dibandingkan dengan hanya katalis tanpa dilakukan peningkatan keasaman.

1.3 Identifikasi Masalah

- a. Apa jenis katalis dan bagaimana karakteristik katalisnya yang paling efektif untuk mengonversi limbah LDPE menjadi bahan bakar cair?
- b. Bagaimana kondisi temperatur yang tepat untuk mengonversi limbah LDPE menjadi bahan bakar cair?

- c. Bagaimana pengaruh keasaman katalis terhadap katalis yang diberikan perilaku asam dan pengaruh terhadap hasil perolehan produk cair?

1.4 Premis

Tabel 1.1 Tabel Premis *Yield* Pirolisis

No.	Bahan Baku	T(°C), P (MPa)	Waktu Pirolisis (menit)	Katalis	Jenis Reaktor	Yield (%)			Peneliti
						Padat	Cair	Gas	
1	LDPE	450 °C	-	-	-	8,5	72,1	19,4	Achillias et al.,2007
2	LDPE	450 °C	120	-	-	<1	17	83	Gao, 2010
3	LDPE	500 °C	90	-	-	-	74,4	-	Demawangan,2016
4	LDPE	500 - 600 °C	10	-	Batch	0,37	83,22	2,28	Jang,2016
5	LDPE	425 °C;(0,8-4,3)	60	-	Batch	10	89,5	0,5	Onwudilli,2009
		450 °C				1,75	72,4	25	
		500 °C				15,5	37,5	47	
6	LDPE	430 °C	186	Silika Alumina (Sigma Aldrich) dan NiO	Semibatch	-	60	-	Park,2002
		440 °C	97			-	63	-	
		480 °C	41			-	68	-	
7	LDPE	350 °C	120	MgO	Batch	0,4	66,2	33,4	Shah,2010
		400 °C	180	ZnO		0,8	64,9	34,3	
		350 °C	60	CaC ₂		1,4	69,7	28,9	
		350 °C	180	SiO ₂		0,4	79,1	20,5	
		350 °C	120	Al ₂ O ₃		1,3	62,2	36,5	
8	LDPE	450 °C	-	Kaolin	-	-	70	-	Inderscience, 2014
9	LDPE	500 °C	-	Bentonite	-	-	87,6	-	Budsareechai, 2019
10	LDPE	220-240 °C	-	CTA-POM	-	6	73	19	Batool,2016
11	LDPE	260-280 °C	-	ZSM 5	-	6	49	44	Batool,2016
12	LDPE	400 °C	-	ZSM 5	Fixed Bed	-	71	-	Wong,2017
		500 °C	-			-	93	-	
		600 °C	-			-	<93	-	

1.5 Hipotesis

Hipotesis yang dapat diambil untuk penelitian ini adalah:

1. Semakin banyak jumlah situs asam Bronsted pada katalis ZSM-5 maka akan meningkatkan hasil perolehan produk cair.
2. Pirolisis katalitik yang dilakukan pada temperatur yang lebih tinggi maka hasil perolehan produk cair akan lebih banyak.
3. Semakin tinggi keasaman katalis maka hasil perolehan produk cair akan lebih banyak.

1.6 Tujuan Penelitian

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh temperatur terhadap proses pirolisis limbah plastik LDPE terhadap *yield* cair yang dihasilkan;
2. Mengetahui pengaruh keasaman katalis terhadap proses pirolisis limbah plastik LDPE terhadap *yield* cair;
3. Mengetahui katalis yang efektif dalam menghasilkan produk cair yang banyak dalam proses pirolisis limbah plastik LDPE;

1.7 Manfaat Penelitian

Manfaat dari dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Untuk lingkungan & masyarakat
 - a. Berkembangnya teknologi maupun pengetahuan tentang pengolahan limbah plastik di industri;
 - b. Mendapatkan keuntungan dalam mendaur ulang limbah LDPE;
 - c. Peluang usaha baru dengan pengolahan limbah LDPE.
2. Untuk pemerintah
 - a. Mendapatkan solusi dalam penanganan masalah limbah plastik;
 - b. Memajukan teknologi pengolahan limbah plastik di Indonesia;
 - c. Membuka peluang lapangan kerja dalam industri pengolahan limbah plastik di Indonesia.

3. Untuk peneliti
 - a. Mengetahui temperatur, tipe katalis dan tingkat keasaman katalis yang optimum dalam proses pirolisis sehingga memperoleh produk cair yang maksimum;
 - b. Mengetahui katalis yang dapat mengoptimalkan proses pirolisis LDPE