



**PENGARUH KATALIS ZEOLIT ALAM TERHADAP PEROLEHAN
MINYAK PIROLISIS SAMPAH PLASTIK *POLYSTYRENE* DAN
*LOW DENSITY POLYETHYLENE***

SKRIPSI

Oleh:

Yudi Kenang Pamungkas

151910101002

**PROGRAM STUDI STRATA 1
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2020**



**PENGARUH KATALIS ZEOLIT ALAM TERHADAP PEROLEHAN
MINYAK PIROLISIS SAMPAH PLASTIK *POLYSTYRENE* DAN
*LOW DENSITY POLYETHYLENE***

SKRIPSI

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1) dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh:

Yudi Kenang Pamungkas

151910101002

**PROGRAM STUDI STRATA 1
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2020**

PERSEMBAHAN

Dengan mengucapkan syukur kehadirat Allah SWT akhirnya skripsi saya terselesaikan, maka skripsi ini saya persembahkan kepada:

1. Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat serta karunia-Nya sehingga dapat menyelesaikan skripsi dengan baik;
2. Nabi Muhammad SAW, yang menjadi panutan dalam menjalani hidup;
3. Ayahandaku Sumarsono dan Ibundaku Siti Fatimah, terimakasih atas segala dukungan, pengorbana, kasih sayang, materi, dan doa yang senantiasa mengiringi perjuangan dan keberhasilan saya sebagai penulis;
4. Mbak Tina, mbak Ari, mas Bagus, dek Fanny, dan semua keluarga besar saya yang selalu menghibur dan selalu menyemangati saya sebagai penulis;
5. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan sarana dan prasarana untuk menuntut ilmu.

MOTTO

“Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.”

(QS. Al-Insyirah,6)

“Allah mencintai pekerjaan yang apabila bekerja ia menyelesaikannya dengan baik.”

(HR. Thabrani)

“Hidup ini seperti sepeda. Agar tetap seimbang kau harus terus bergerak.”

(Albert Einstein)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Yudi Kenang P

NIM : 151910101002

Menyatakan dengan sesungguhnya laporan skripsi dengan judul “*Pengaruh Katalis Zeolit Alam Terhadap Perolehan Minyak Pirolisis Sampah Plastik Polystyrene dan Low Density Polyethylene*” adalah benar – benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang telah disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada instansi manapun. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan tanggung jawab tanpa ada unsur pemaksaan serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 7 Januari 2020

Yang Menyatakan,

Yudi Kenang P

151910101002

SKRIPSI

**PENGARUH KATALIS ZEOLIT ALAM TERHADAP PEROLEHAN
MINYAK PIROLISIS SAMPAH PLASTIK *POLYSTYRENE* DAN
*LOW DENSITY POLYETHYLENE***

Oleh :

Yudi Kenang P

151910101002

Pembimbing

Pembimbing Utama : Ir. Ahmad Adib Rosyadi S.T., M.T.

Pembimbing Anggota : Ir. FX. Kristianta, M.Eng.

PENGESAHAN SKRIPSI

Skripsi berjudul “*Pengaruh Katalis Zeolit Alam Terhadap Perolehan Minyak Pirolisis Sampah Plastik Polystyrene Dan Low Density Polyethylene*” telah diuji dan disahkan pada:

Hari, Tanggal : Selasa, 7 Januari 2020

Tempat : Ruang Ujian Fakultas Teknik Universitas Jember

Pembimbing,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Anggota,

Ir. Ahmad Adib Rosyadi, S.T., M.T.
NIP 19850117 201212 1 001

Ir. FX. Kristianta, M.Eng.
NIP 19650120 200112 1 001

Penguji,

Penguji Utama,

Penguji Anggota,

Ir. Andi Sanata, S.T., M.T.
NIP 19750502 200112 1 001

Ir. Dwi Djumhariyanto, M.T.
NIP 19600812 199802 1 001

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M. UM.
NIP 19661215 199503 2 001

RINGKASAN

Pengaruh Katalis Zeolit Alam Terhadap Perolehan Minyak Pirolisis Sampah Plastik *Polystyrene* dan *Low Density Polyethylene*; Yudi Kenang Pamungkas, 151910101002; 2019; 67 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Plastik mempunyai peranan penting dalam meningkatkan standar kehidupan manusia hampir selama 50 tahun lebih. Hal tersebut juga memicu munculnya inovasi-inovasi baru produk plastik diberbagai sektor seperti konstruksi, kesehatan, elektronik, otomotif, dan pengemasan. Keadaan ini dapat memicu presentase sampah yang berada di TPA meningkat. Karena plastik bisa memakan waktu hingga milyaran tahun untuk mendegradasi secara alami. Plastik sangat susah terurai karena mengandung hidrogen, karbon dan beberapa unsur lain seperti nitrogen, klorin dan lainnya. sehingga banyak upaya untuk menguraikan bahan-bahan sampah plastik, dengan cara mengkonversikan bahan-bahan plastik tersebut menjadi bahan bakar, karena perlu di ketahui bahwa sifat penyusun plastik itu sendiri yaitu hidrokarbon. Metode yang tepat untuk menguraikan sampah plastik adalah metode pirolisis, Pirolisis adalah reaksi depolimerisasi pada suhu tinggi mengikuti mekanisme radikal bebas dan sangat cocok untuk senyawa yang memiliki derajat polimerisasi yang tinggi. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui jumlah minyak yang dihasilkan oleh plastik PS dan LDPE, dengan pengaruh katalis Zeolit alam.

Penelitian ini menggunakan metode experimental melakukan percobaan pirolisis dengan menggunakan variasi tanpa menggunakan katalis, menggunakan satu tingkat katalis, dan menggunakan dua tingkat katalis. Proses penelitian yaitu 300 gram sampah plastik LDPE dan PS masing masing dilakukan percobaan dengan tanpa katalis, satu tingkat katalis, dan dua tingkat katalis, dengan katalis 100 gram pada setiap tingkatannya, dan variasi kontrol yaitu temperatur 400°C dan lama pemanasan 50 menit.

Proses pirolisis sampah plastik LDPE dengan tanpa menggunakan katalis menghasilkan rata-rata minyak sebanyak 117 ml, dengan menggunakan katalis tingkat satu menghasilkan minyak rata-rata sebanyak 141 ml, dengan menggunakan katalis tingkat 2 menghasilkan rata-rata minyak sebanyak 175 ml, dan proses pirolisis sampah plastik PS dengan tanpa menggunakan katalis menghasilkan rata-rata minyak sebanyak 135 ml, dengan menggunakan katalis tingkat satu menghasilkan rata-rata minyak sebanyak 157 ml, dengan menggunakan katalis tingkat 2 menghasilkan rata-rata minyak sebanyak 182 ml.

Dapat disimpulkan bahwa penambahan tingkat katalis pada proses pirolisis sampah plastik LDPE dan PS dapat menambah perolehan minyak yang dihasilkan dari proses pirolisis, hal tersebut dikarenakan fungsi utama katalis zeolit alam yaitu memecah rantai hidrokarbon pendek menjadi lebih panjang. Karakterisasi minyak pirolisis densitas kisaran $0,7 \text{ gram/cm}^3$ untuk LDPE dan $0,8 \text{ gram/cm}^3$ untuk PS, sedangkan nilai kalor terendah yaitu PS 2 tingkat katalis yaitu senilai 19,0 MJ/Kg, sedangkan nilai tertinggi yaitu LDPE 2 tingkat katalis senilai 24,8 MJ/Kg.

SUMMARY

The Effect of Natural Zeolite Catalysts on the Acquisition of Polystyrene Plastic Waste Pyrolysis Oil and Low Density Polyethylene; Yudi Kenang Pamungkas, 151910101002; 2019; 67 pages; Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

Plastic has an important role in raising the standard of living for almost 50 years. It also triggered the emergence of new innovations in plastic products in various sectors such as construction, health, electronics, automotive, and packaging. This situation can trigger the percentage of waste in the landfill to increase. Because plastic can take up to billions of years to degrade naturally. Plastic is very difficult to decompose because it contains hydrogen, carbon and several other elements such as nitrogen, chlorine and others. so many attempts to decipher plastic waste materials, by converting these plastic materials into fuel, because it needs to know that the nature of the plastic constituent itself is hydrocarbons. The right method to decompose plastic waste is the method of pyrolysis, pyrolysis is a depolymerization reaction at high temperatures following a free radical mechanism and is suitable for compounds that have a high degree of polymerization. The purpose of this study was to determine the amount of oil produced by PS and LDPE plastics, under the influence of natural Zeolite catalysts.

This study uses an experimental method to conduct pyrolysis experiments using variations without using a catalyst, using one level of catalyst, and using two levels of catalyst. The research process is 300 grams of LDPE and PS plastic waste each conducted with a catalyst without catalyst, one level of catalyst, and two levels of catalyst, with catalyst 100 grams at each level, and control variations namely temperature 400°C and heating time of 50 minutes.

LDPE plastic waste pyrolysis process without using a catalyst produces an average of 117 ml of oil, using a level one catalyst produces an average of 141 ml of oil, using a level 2 catalyst produces an average of 175 ml of oil, and the waste

pyrolysis process PS plastic without using a catalyst produces an average of 135 ml of oil, using a level one catalyst produces an average of 157 ml of oil, using a level 2 catalyst produces an average of 182 ml of oil.

It can be concluded that the addition of catalyst levels in the LDPE and PS plastic waste pyrolysis process can increase the oil recovery generated from the pyrolysis process, this is because the main function of the natural zeolite catalyst is to break the short hydrocarbon chains into longer ones. Characterization of pyrolysis oil density range of 0.7 gram / cm³ for LDPE and 0.8 gram / cm³ for PS, while the lowest heating value is PS 2 catalyst level which is worth 19.0 MJ / Kg, while the highest value is LDPE 2 catalyst level worth 24.8 MJ / Kg.

PRAKATA

Puji dan syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “”. Skripsi ini disusun guna memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (SI) di jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Dalam proses penelitian dan penyusunan skripsi ini tidak lepas dari dukungan dan bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Dr. Ir. Entin Hidayah M, UM. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberi kesempatan kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi;
2. Hari Arbiantara Basuki, S.T., M.T selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin yang telah memberikan kesempatan dan kepercayaan untuk menyelesaikan skripsi;
3. Ir. Ahmad Adib Rosyadi, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama dan Ir. FX. Kristianta, M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Anggota, terimakasih atas bimbingan, kritikan, dan saran yang membangun untuk penulisan skripsi;
4. Dr. Salahuddin Junus, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing akademik yang telah memberi arahan kepada penulis dalam masa perkuliahan;
5. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember yang telah memberikan ilmu pengetahuan, bimbingan, dan motivasi kepada penulis;
6. Ayahanda Sumarsono, Ibunda Siti Fatimah, Kakak Tina, Ari, Bagus, serta Adik Fanny yang telah memberikan dukungan berupa do'a, semangat, waktu, tenaga, dan pikiran kepada penulis;
7. Kelompok penelitian pirolisis yaitu Arief Putra Mada Addillah, Aji Pangarso Luhur, Yuska, dan Yudan, Yobi yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.

8. Teman – teman jurusan Teknik Mesin angkatan 2015 yang selalu memberikan dukungan dan doa kepada penulis;
9. Keluarga besar UKMO periode 2016-2017, 2017-2018, 2018-2019 yang telah memberikan banyak pengalaman berorganisasi semasa kuliah;
10. KKN 54 yang memberikan banyak cerita semasa kuliah, dan yang selalu menyamangati saya sebagai penulis;
11. Pihak – pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak, demi kesempurnaan penulisan skripsi ini. Akhir kata penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pihak yang telah membaca.

Jember, 7 Januari 2020

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	ii
HALAMAN MOTTO.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iv
HALAMAN PEMBIMBINGAN.....	v
HALAMAN PENGESAHAN.....	vi
RINGKASAN / SUMMARY.....	vii
PRAKATA.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xviii
BAB 1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan dan Manfaat.....	3
1.3.1 Tujuan.....	3
1.3.2 Manfaat.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Pirolisis.....	5
2.2 Sampah Plastik.....	8
2.2.1 Sampah dan Limbah.....	8
2.2.2 Sampah Padat.....	8
2.2.3 Karakterisasi Sampah.....	10
2.2.4 Plastik.....	10
2.3 Katalis.....	15
2.4 Katalik (<i>Catalytic Cracking</i>).....	20

2.5 Peran Katalis Dalam Proses Pirolisis	21
2.6 Proses Pirolisis	23
2.7 Bahan Bakar	26
2.6.1 Bahan Bakar Cair.....	26
2.6.1 Karakteristik Bahan Bakar Cair.....	26
2.8 Hipotesis	27
2.7 Pengujian Hipotesis	28
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	31
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	31
3.2 Alat dan Bahan	31
3.1.1 Alat.....	31
3.1.2 Bahan	31
3.3 Skema Alat	31
3.4 Metode Penelitian	34
3.4.1 Studi Literatur.....	34
3.4.1 Konsultasi.....	34
3.4.1 Experimental	34
3.4.1 Analitik.....	34
3.5 Variabel Penelitian.....	35
3.5.1 Variabel Bebas.....	35
3.5.1 Variabel Terikat	35
3.6 Prosedur Penelitian.....	35
3.7 Pengambilan Data.....	36
3.8 Diagram Alir Penelitian.....	37
BAB 4. PEMBAHASAN	38
4.1 Hasil Pengambilan Data	38
4.2 Pengujian Hipotesis Statistik.....	39
4.2.1 Membandingkan Hasil Perolehan Minyak Plastik PS (μ_1) dan Perolehan Minyak Plastik LDPE (μ_2).....	39

4.2.2 Membandingkan hasil perolehan minyak pirolisis saat tanpa katalis (μ_1), katalis tingkat 1 (μ_2), dan katalis tingkat 2 (μ_3) pada proses pirolisis sampah plastik LDPE	45
4.2.3 Membandingkan hasil perolehan minyak pirolisis saat tanpa katalis (μ_1), katalis tingkat 1 (μ_2), dan katalis tingkat 2 (μ_3) pada proses pirolisis sampah plastik PS	52
4.3 Pembahasan Hasil Pirolisis.....	59
4.3.1 Pengaruh Katalis Zeolit Alam Pada Proses Pirolisis Sampah Plastik LDPE	59
4.3.2 Pengaruh Katalis Zeolit Alam Pada Proses Pirolisis Sampah Plastik PS	60
4.3.3 Perbandingan Hasil Minyak, Arang, Residu, dan Gas dari Proses Pirolisis Sampah Plastik LDPE	62
4.3.4 Perbandingan Hasil Minyak, Arang, Residu, dan Gas dari Proses Pirolisis Sampah Plastik PS	63
4.4 Pengujian Laboratorium Hasil Pirolisis	65
4.4.1 Uji Nilai Kalor	65
4.4.2 Uji Nilai Densitas/Massa Jenis	66
BAB 5. PENUTUP	67
5.1 Kesimpulan	67
5.2 Saran	67
DAFTAR PUSTAKA.....	68
LAMPIRAN	71

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Diagram Kondisi Kerja	7
Gambar 2.2 Zeolit Alam	19
Gambar 2.3 Kaolin.....	19
Gambar 2.4 Diagram pirolisis HDPE dengan katalis zeolit pada <i>conical spouted bed reactor</i> (CBSR).....	21
Gambar 2.5 % yield produk liquid dan solid untuk berbagai variabel jumlah katalis.....	22
Gambar 2.6 <i>Small pilot-scale pyrolysis reactor</i>	23
Gambar 2.7 <i>Schematic Diagram of the Two-Stage Catalytic Pyrolysis Reactor</i> ..	25
Gambar 3.1 Skema Alat Pirolisis Bahan Plastik	32
Gambar 3.2 Diagram Alir.....	37
Gambar 4.1 Grafik pengaruh katalis zeolit alam terhadap perolehan minyak hasil pirolisis sampah plastik LDPE	59
Gambar 4.2 Grafik pengaruh katalis zeolit alam terhadap perolehan minyak hasil pirolisis sampah plastik PS	60
Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Hasil Minyak, Arang, Residu, dan Gas Sampah Plastik LDPE.....	62
Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Hasil Minyak, Arang, Residu, dan Gas Sampah Plastik PS	63

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Data Analisis Proximate Karakteristik Sampah plastik HDPE dan PS .	14
Tabel 2.2 Komposisi Zeolit Alam	18
Tabel 2.3 Komposisi Kaolin.....	20
Tabel 3.1 Pengambilan Data Hasil Pirolisis	36
Tabel 4.1 Tabel Data Hasil Minyak Pirolisis	38
Tabel 4.2 Data Perolehan Minyak Pirolisis Sampah Plastik PS dan LDPE.....	39
Tabel 4.3 Ringkasan perhitungan statistik hasil minyak pirolisis plastik PS (μ_1) dengan LDPE (μ_2).....	44
Tabel 4.4 Data Perolehan Minyak Pirolisis Sampah Plastik PS dan LDPE.....	45
Tabel 4.5 Ringkasan perhitungan statistika, perbandingan hasil perolehan minyak pirolisis saat tanpa katalis (μ_1), katalis tingkat 1 (μ_2), dan katalis tingkat 2 (μ_3) pada proses pirolisis sampah plastik LDPE.....	51
Tabel 4.6 Data Perolehan Minyak Pirolisis Sampah Plastik PS dan LDPE.....	52
Tabel 4.7 Ringkasan perhitungan statistika, perbandingan hasil perolehan minyak pirolisis saat tanpa katalis (μ_1), katalis tingkat 1 (μ_2), dan katalis tingkat 2 (μ_3) pada proses pirolisis sampah plastik PS.	57
Tabel 4.8 Hasil Uji Nilai Kalor.....	65
Tabel 4.9 Hasil Uji Nilai Densitas/Massa Jenis.....	66

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
A. LAMPIRAN FOTO.....	71
Gambar A1. Serangkaian alat pirolisis	71
Gambar A2. Sampah plastik LDPE	71
Gambar A3. Sampah plastik PS	71
Gambar A4. Katalis zeolit alam	72
Gambar A5. Hasil minyak pirolisis sampah plastik LDPE.....	72
Gambar A6. Hasil minyak pirolisis sampah plastik PS	72
Gambar A7. Arang LDPE	73
Gambar A8. Arang PS	73
Gambar A9. Residu LDPE	73
Gambar A10. Residu PS	73
Gambar A11. Hasil uji nilai densitas/massa jenis	74
Gambar A12. Hasil uji nilai kalor.....	75
Gambar A13. Piknometer.....	76
Gambar A14. Boom kalorimeter	76
B. LAMPIRAN TABEL.....	77
Tabel 1. Data Hasil Pirolisis Dalam Bentuk (kg)	77
Tabel 2. Data Hasil Pirolisis Dalam Bentuk (%)......	77
C. LAMPIRAN PERHITUNGAN.....	78
Perhitungan C1. Kebutuhan Bahan Bakar LPG pada Proses Pirolisis	78

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Plastik mempunyai peranan penting dalam meningkatkan standar kehidupan manusia hampir selama 50 tahun lebih. Hal tersebut juga memicu munculnya inovasi-inovasi baru produk plastik diberbagai sektor seperti konstruksi, kesehatan, elektronik, otomotif, dan pengemasan. Keadaan ini dapat memicu presentase sampah yang berada di TPA meningkat. Karena plastik bisa memakan waktu hingga milyaran tahun untuk mendegradasi secara alami. Plastik sangat susah terurai karena mengandung hidrogen, karbon dan beberapa unsur lain seperti nitrogen, klorin dan lainnya. Pembuangan secara terus menerus di TPA memicu timbulnya permasalahan lingkungan. (Anuar dkk, 2016).

Masalah sampah plastik tidak berhenti sampai di situ, masalah sampah plastik semakin bertambah ketika berada di tempat pembuangan sampah, sehingga banyak upaya untuk menguraikan bahan-bahan sampah plastik, dengan cara mengkonversikan bahan-bahan plastik tersebut menjadi bahan bakar, karena perlu di ketahui bahwa sifat penyusun plastik itu sendiri yaitu hidrokarbon. Karena itu metode yang tepat untuk menguraikan sampah plastik adalah metode pirolisis, degradasi thermal, gasifikasi, dan juga katalitik (Rodiansono dkk, 2007).

Pirolisis adalah reaksi depolimerisasi pada suhu tinggi mengikuti mekanisme radikal bebas dan sangat cocok untuk senyawa yang memiliki derajat polimerisasi yang tinggi. Reaksi tersebut melalui tiga tahapan tahapan memulai, perambatan, dan penghentian (Sabarodin & Dewanto, 1998). *Thermal Cracking* merupakan proses pirolisis dengan cara memanaskan polimer plastik tanpa oksigen. Hasil dari proses ini yaitu arang dari hasil pemanasan, lalu liquid yang disebut minyak sebagai hasil dari kondensasi gas, serta gas yang tidak bisa terkondensasi. Suhu yang digunakan dalam proses ini pada 350-900 °C (Surono, 2013). Pada proses pirolisis penambahan katalis kerap dilakukan oleh beberapa peneliti, fungsi dari katalis yaitu menurunkan kebutuhan energi, menurunkan waktu reaksi, dan dapat memperbaiki kualitas produk keluarannya. Katalis juga dapat mendorong

slektifitas produk akhir. Beberapa jenis katalis yang biasa digunakan peneliti yaitu silika alumina, *fluid catalytic cracking* (FCC), zeolit Y, HZSM-5, MCM-41, dan zeolit alam. (Syamsiroh, 2015).

Jenis bahan plastik yang dapat diolah menjadi bahan baku pembuatan bahan bakar minyak *PolyStyrene* (PS), *PolyEthylene Terephthalate* (PET), *High Density PolyEthylene* (HDPE), dan *PolyVinyl Chloride* (PVC), *Low Density PolyEthylene* (LDPE), dan *PolyPropylene* (PP). *PolyStyrene* (PS) merupakan biasanya jenis plastik untuk bahan baku untuk pembuatan mainan anak-anak, barang barang elektronik, wadah makanan. *PolyEthylene Terephthalate* (PET) merupakan jenis plastik yang biasanya sebagai bahan baku botol air mineral. *Low Density PolyEthylene* (LDPE) merupakan jenis plastik yang biasanya digunakan sebagai bahan baku pembuatan kantong kresek, *PolyPropylene* (PP) jenis plastik yang biasanya digunakan sebagai bahan baku gelas air mineral. (Miandad dkk., 2016).

Pada penelitian yang dilakukan oleh Miandad dkk. (2017) dengan tipe bahan plastik yang digunakan PS,PP,PE, selain penelitian tipe tunggal Miandad juga melakukan penelitian dengan cara mencampur bahan plastik seperti penyampuran antara PS/PP , PS/PE , PP/PE , PS/PE/PP , PS/PE/PP/PET. Serta melakukan proses pirolisis bahan-bahan plastik tersebut dengan menggunakan katalis zeolit alam dan sintetis, temperatur yang di gunakan tetap pada semua percobaan senilai 450°C, dengan hasil tertinggi pencampuran katalis alam dengan bahan plastik PS hasil minyak sebanyak 54 % sedangkan dengan katalis sintetis pada PS hasil minyak sebanyak 50 % , dan hasil tertinggi percobaan dengan menggunakan katalis sintetis bahan plastik campuran antara PS/PP/PE hasil minyak sebanyak 60 % sedangkan dengan katalis alam pada bahan plastik PS/PP/PE hasil minyak sebanyak 38 %. Pada percobaan yang lain yang di lakukan oleh Devy K. Ratnasari dkk. (2017) beliau melakukan penelitian pirolisis dengan katalis bertipe HZSM-5:Al-MCM-41 dengan metode two-stage yang menghasilkan output bahan bakar bernilai variatif di setiap perbandingannya. Penelitian pirolisis juga di lakukan oleh Dicky Kurnia R. (2018) beliau meneliti sampah plastik rumah tangga bertipe *PolyStyrene* (PS) dan *Low Density PolyEthylene* (LDPE) dengan variasi temperatur dan lama pemanasan sehingga memperoleh hasil minyak

terbanyak senilai 212 gram pada penggabungan 70% PS dan 30% LDPE pada suhu 250°C dan waktu 50 menit.

Jadi dari penelitian di atas dapat dilakukan penelitian selanjutnya yaitu tentang penelitian pirolisis sampah plastik bertipe *PolyStyrene* (PS) dan *Low Density PolyEthylene* (LDPE) dengan menggunakan temperatur variasi senilai 400°C, 450°C, 500°C selama 50 menit dengan metode katalisasi one-stage dan two-stage menggunakan katalis berjenis zeolit alam.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana proses pirolisis yang tepat agar menghasilkan minyak yang baik dengan bahan sampah plastik *PolyStyrene* (PS) dan *Low Density PolyEthylene* (LDPE).?
2. Berapa volume minyak yang dihasilkan dari proses pirolisis bahan sampah plastik *PolyStyrene* (PS) dan *Low Density PolyEthylene* (LDPE) dengan penambahan katalis?

1.3 Tujuan dan Manfaat

1.3.1 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui proses pirolisis yang tepat agar menghasilkan minyak yang baik dengan bahan sampah plastik *PolyStyrene* (PS) dan *Low Density PolyEthylene* (LDPE).
2. Untuk mengetahui volume minyak yang dihasilkan dari proses pirolisis bahan sampah plastik *PolyStyrene* (PS) dan *Low Density PolyEthylene* (LDPE) dengan penambahan katalis.

1.3.2 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memberikan informasi mengenai pengaruh katalis zeolit alam terhadap perolehan hasil minyak.
2. Sebagai informasi untuk mengembangkan penelitian selanjutnya.

1.4 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini dilakukan pembatasan masalah yang meliputi hal-hal sebagai berikut :

1. Katalis yang di gunakan zeolit alam.
2. Tidak meneliti sifat kimia pada proses pirolisis sampah plastik dan katalis zeolit alam
3. Perhitungan perpindahan panas secara konduksi, konveksi, dan radiasi tidak di lakukan
4. Pendinginan pada kondensasi dilakukan secara konstan
5. Udara awal pada reaktor tekanannya sama dengan udara atmosfer
6. Reaktor dan pipa tembaga tidak terjadi kebocoran
7. Mengabaikan berapa energi yang di butuhkan saat proses pirolisis

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pirolisis

Pirolisis menurut (Widjaya, 1982) dalam tulisan karya ilmiah (Aulia, 2017) adalah proses degradasi atau penguraian bahan baku yang padat menjadi gas dengan bantuan panas tanpa adanya oksigen. Secara sederhana pirolisis dapat diartikan pemanasan tanpa oksigen. Pirolisis disebut juga dengan destilasi kering karena proses penguraian disebabkan oleh pemanasan dan tanpa adanya kehadiran udara. Proses pirolisis sudah dikenal sejak ratusan tahun yang lalu untuk membuat arang dari sisa tumbuhan. Pirolisis banyak digunakan dalam bidang industri seperti pembuatan syn gas, pembuatan arang, pembuatan metanol, pembuatan kokas dari batu bara, mengubah hidrokarbon berat dan menengah menjadi hidrokarbon lebih ringan pada minyak bumi seperti pembuatan bensin, mengubah sampah agar aman untuk dibuang dan lain lain. Menurut (Wicaksono, 2012) dalam tulisan karya ilmiah (Aulia, 2017), hasil dari produk pirolisis adalah gas dan padatan. Gas nantinya akan dikondensasi dan didapatkan *bio oil* yang dapat digunakan sebagai bahan bakar cair. Sementara karbon yang dihasilkan dapat digunakan sebagai bahan bakar padat.

Beberapa faktor yang mempengaruhi pirolisis adalah sebagai berikut (Basu, 2010):

a. Temperatur

Temperatur memiliki pengaruh yang besar dalam proses pirolisis. Semakin tinggi temperatur maka semakin banyak gas yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan bahan baku padatan akan menguap dan berubah menjadi gas sehingga berat dari padatan bahan baku akan berkurang. Namun, semakin tinggi temperatur akan membuat produk *bio oil* yang dihasilkan semakin berkurang. Hal ini dikarenakan temperatur yang tinggi dapat merubah hidrokarbon rantai yang panjang dan sedang menjadi hidrokarbon dengan rantai yang pendek. Jika rantai hidrokarbon sangat pendek, maka diperoleh hasil gas yang tidak dapat dikondensasi.

b. Waktu Reaksi

Waktu memiliki pengaruh pada proses pirolisis. Dalam kondisi vakum, waktu reaksi yang lama akan menyebabkan produk pirolisis menjadi gas. Karena semakin lama waktunya maka akan membuat hidrokarbon rantai panjang menjadi hidrokarbon rantai pendek. Produk padatan juga akan semakin berkurang karena menguap jika waktu reaksinya semakin lama.

c. Bahan Baku

Kandungan dalam bahan baku juga mempengaruhi hasil pirolisis. Di dalam biomassa terkandung selulosa, hemiselulosa dan lignin. Dari ketiga jenis ini mengandung ikatan rantai C dan H serta unsur lainnya. Lignin memiliki ikatan C dan H yang sangat banyak, sementara hemiselulosa memiliki kandungan C dan H yang sedikit, sehingga jika dikonversikan secara pirolisis akan didapatkan bio oil terbanyak dari lignin. Sementara di dalam plastik juga terdapat ikatan C dan H yang cukup banyak mengingat plastik bersumber dari hasil olahan sampingan dari minyak bumi.

d. Ukuran Bahan Baku

Ukuran bahan baku yang besar akan membuat perambatan panas antar bahan baku akan berlangsung lama. Hal ini akan menyebabkan proses penguapan bahan baku menjadi lebih lama.

e. Laju Pemanasan

Laju pemanasan sangat mempengaruhi hasil dari produk pirolisis yang didapatkan. Pada kondisi kerja bertekanan lingkungan, semakin tinggi laju reaksi pada pirolisis maka akan mendapatkan jumlah bio oil yang banyak. Namun, hal ini tidak efisien dikarenakan jika memperbesar laju reaksi maka akan membuat pemakaian energi untuk proses pirolisis menjadi lebih besar.

f. Katalis

Keberadaan katalis dengan jumlah yang banyak akan membuat proses dekomposisi semakin cepat. Namun jika terlalu banyak katalis yang dimasukkan maka akan membuat produk pirolisis akan menjadi gas. Ukuran pori dari katalis mempengaruhi hasil produk pirolisis. Karena di dalam pori permukaan katalis terdapat sisi aktif yang mengandung asam guna membantu proses perekahan.

Semakin kecil ukuran katalis maka akan semakin besar luas permukaan katalis dan semakin memperbanyak jumlah pori pada katalis.

g. Kadar Air

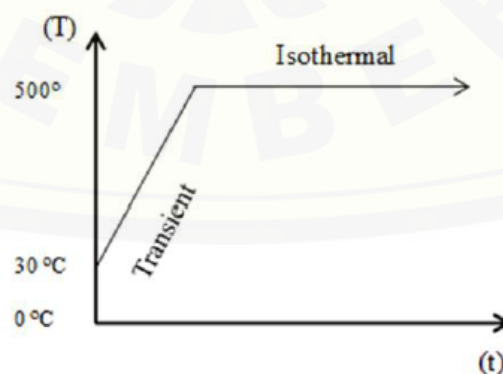
Kandungan air dalam bahan baku akan mempengaruhi hasil dari produk pirolisis. Jika dalam bahan baku banyak terdapat air, maka produk yang dihasilkan akan banyak kandungan air di dalam bio oil. Selain itu dibutuhkan panas yang sangat besar untuk menaikkan ke temperatur kerja yang diinginkan karena keberadaan air yang mana proses penguapan air berlangsung terlebih dahulu.

h. Kondisi Kerja

Kondisi kerja dalam pirolisis dapat dibagi menjadi 2, yaitu secara vakum dan secara atmosfer. Pada kondisi atmosfer, ketika bahan baku sudah menguap, maka akan langsung keluar dan dikondensasi. Sementara pada kondisi vakum maka hasil dari uap ditahan dan terjadi reaksi yang berkelanjutan.

i. Perlakuan Panas

Dalam proses pirolisis terdapat dua cara untuk memanaskan bahan baku, yaitu secara isothermal dan secara transien. Secara transien, bahan baku dipanaskan dari temperatur ruangan menuju temperatur kerja. Sementara jika secara isothermal maka reaktor dipanaskan terlebih dahulu hingga temperatur kerja dan bahan baku diumpankan ke dalam reaktor setelah temperatur kerja didapatkan.



Gambar 2.1 Diagram Kondisi Kerja

Pada gambar 2.1 dapat kita lihat (T) menunjukkan suhu dan (t) menunjukkan waktu, diagram kondisi kerja ini memberitahukan bahwa pirolisis dapat di lakukan dari temperatur ruangan sebesar 30°C menuju temperatur kerja sebesar 500°C disebut juga dengan proses transient, atau dapat di dilakukan pada suhu awal 500°C secara konstan dengan cara memanaskan reaktornya terlebih dahulu sampai suhu 500°C baru bahan bakunya di masukkan kedalam reaktor sampai proses selesai, hal tersebut dapat di sebut juga dengan proses isothermal.

2.2 Sampah Plastik

2.2.1 Sampah dan Limbah

Sampah adalah sisa dari kegiatan manusia sehari-hari. WHO mendefinisikan sampah adalah sesuatu yang sudah tidak di gunakan kembali, tidak disenangi, tidak dipakai, atau sudah di buang yang berasal dari kegiatan manusia, bukan terbentuk sendiri (Ramon, 2015).

Menurut Kristanto (2004), limbah industri adalah semua jenis bahan sisa atau bahan buangan yang berasal dari hasil samping suatu proses perindustrian. Limbah industri dapat menjadi limbah yang sangat berbahaya bagi lingkungan hidup dan manusia.

Dari pengertian sampah dan limbah di atas dapat kita ketahui bahwa sampah dan limbah memiliki kesamaan yaitu sama-sama bahan sisa atau buangan namun asalnya yang berbeda, untuk sampah merupakan bahan sisa dari kegiatan manusia sehari hari yang sudah tidak di fungsikan lagi, sedangkan limbah berasal dari proses perindustrian.

2.2.2 Sampah Padat

Sampah padat berasal dari aktivitas manusia yang memiliki bentuk padat dan tidak berguna. Sampah padat umumnya dapat berupa debu, pecahan kaca, sampah plastik, sampah kertas, sampah tekstil, sampah dapur, sampah kebun dan sebagainya. Sampah padat dibagi menjadi sampah organik dan sampah anorganik yang berasal dari rumah tangga, komersial dan industri yang tidak memiliki nilai ekonomi untuk pemiliknya (UNICEF, 2006).

Menurut Basriyanta (2007), jenis sampah dibagi menjadi sampah anorganik dan sampah organik, yaitu sebagai berikut :

a. Sampah yang bersifat anorganik

Sampah anorganik merupakan sampah yang berasal dari bahan-bahan non organik. Sebagian besar sampah anorganik tidak dapat terurai oleh mikroorganisme secara keseluruhan (unbiodegradable). Sebagian lainnya hanya dapat diuraikan namun dalam waktu yang lama. Sampah anorganik dibedakan menjadi sampah logam, sampah plastik, sampah kertas, sampah keramik dan sebagainya.

b. Sampah yang bersifat organik

Sampah organik merupakan sampah yang berasal dari bahan-bahan organik yang dapat dengan mudah terurai melalui proses alami oleh mikroorganisme (biodegradable). Sebagian besar sampah organik berasal dari sampah rumah tangga, seperti sampah dari dapur dan sisa-sisa makanan.

Menurut Sirait (2009), sampah organik dan anorganik memiliki jangka waktu tertentu untuk dapat terurai ataupun terhancurkan, namun ada beberapa sampah yang tidak dapat teruraikan, berikut ini merupakan penggolongan sampah berdasarkan waktu hancurnya :

a. Sampah organik :

1. Kulit pisang : 3-5 minggu
2. Kertas : 2-5 bulan
3. Kulit jeruk : 6 bulan
4. Kayu balok : 10-20 tahun

b. Sampah anorganik :

1. Kaus kaki katun : 5-6 bulan
2. Kaus kaki wol : 1-5 tahun
3. Putung rokok : 1-12 tahun
4. Kotak minuman : 5 tahun
5. Kain nilon : 30-40 tahun
6. Perman karet : 50 tahun
7. Kaleng aluminium : 200-500 tahun

8. Botol plastik : tidak dapat hancur
9. Botol kaca : tidak dapat hancur

2.2.3 Karakteristik sampah

Berdasarkan dari karakteristik sampah yang dihasilkan, sampah dibagi menjadi dua yaitu sebagai berikut :

a. Sampah basah (*garbage*)

Menurut Soemirat (2000), sampah basah (*garbage*) adalah sampah yang mudah membusuk, yaitu yang mudah mengalami proses pembusukan karena aktivitas organisme. Sampah basah merupakan sampah padat semi basah yang berupa bahan-bahan organik yang umumnya berasal dari makanan dan pertanian, misalnya sisa-sisa dari makanan, sayuran, buah-buahan dan dapur. Sampah jenis ini mempunyai ciri mudah terurai oleh mikroorganisme dan mudah mengalami pembusukan, karena mempunyai rantai kimia yang relatif pendek.

Jenis sampah ini terdiri dari sisa-sisa potongan hewan atau sayur-sayuran hasil dari pengolahan, persiapan, pembuatan, dan penyediaan makanan yang sebagian besar terdiri dari zat-zat yang mudah untuk mengalami proses pembusukan, bersifat lembab dan mengandung sejumlah air bebas (Kusnopranto, 2000).

b. Sampah kering (*rubbish*)

Sampah kering (*rubbish*) merupakan sampah padat organik yang cukup kering dan sulit terurai oleh mikroorganisme sehingga sulit mengalami pembusukan dan hal ini disebabkan karena memiliki rantai kimia yang panjang dan kompleks. Sampah kering termasuk sampah yang dapat terbakar dan tidak dapat terbakar yang berasal dari kegiatan masyarakat. Sampah yang mudah terbakar yaitu berasal dari kertas, kardus, kain, kayu, plastik dan lainnya. Sedangkan yang tidak mudah terbakar yaitu berupa logam, mineral, kaleng dan sebagainya.

2.2.4 Plastik

Plastik merupakan salah satu jenis makromolekul yang terbentuk melalui proses polimerisasi. Polimerisasi adalah proses penggabungan beberapa molekul

sederhana (monomer) melalui proses kimia menjadi molekul besar (makromolekul atau polimer). Plastik umumnya terbuat dari polimer sintesis yang mengandung hidrogen, karbon dan oksigen yang berasal dari hasil pengolahan minyak bumi. Tipe plastik masa kini cenderung sulit untuk diuraikan dan bahkan tidak mudah menyatu dengan alam. Salah satu bahan untuk membuat plastik yang sering digunakan adalah naphtha, yaitu bahan yang dihasilkan dari penyulingan minyak bumi atau gas alam. Sebagai gambaran, pembuatan 1 kg plastik memerlukan 1,75 kg minyak bumi, untuk pemenuhan kebutuhan bahan baku maupun kebutuhan energi prosesnya (Kumar dkk, 2011).

Menurut Mujiarto (2005), plastik dapat dikelompokkan menjadi dua macam yaitu thermoplastic dan thermosetting. Thermoplastic merupakan bahan plastik yang jika dipanaskan sampai temperatur tertentu akan mencair dan dapat dibentuk kembali menjadi bentuk yang diinginkan dan dapat terjadi berulang-ulang tanpa terjadi perubahan khusus. Thermoplastic termasuk turunan ethylene dan dinamakan plastik vinyl karena mengandung gugus vinyl atau polyolefin. Bahan ini sebagian besar polimer dipakai untuk mengemas atau kontak dengan bahan makanan.

Thermosetting merupakan jenis plastik yang melunak jika dilakukan proses pemanasan dan pembentukan, serta mengeras secara permanen dan dapat hancur atau hancur apabila dilakukan pemanasan. Jenis plastik ini berubah menjadi arang pada suhu tinggi, karena struktur kimianya bersifat 3 dimensi dan cukup kompleks. Pemakaian jenis plastik ini dalam industri pangan terutama untuk membuat tutup botol. Produk didalam botol tidak akan kontak langsung dengan tutup botol karena selalu diberi lapisan perapat yang juga berfungsi sebagai pelindung. Kebanyakan material komposit modern menggunakan plastik thermosetting, yang biasanya disebut resin. Kelebihan dari plastik jenis ini adalah pada ketahanannya yang kuat.

Berdasarkan sifat yang dimiliki kedua kelompok plastik di atas, thermoplastic merupakan jenis plastik yang memungkinkan untuk didaur ulang. Jenis plastik yang dapat didaur ulang diberi kode berupa nomor untuk memudahkan dalam mengidentifikasi dan penggunaannya.

Berikut ini adalah macam-macam plastik dan kegunaannya menurut Kurniawan A (2012) :

Kode 1: PETE atau PET (*Polyethylene terephthalate*)



PETE atau PET (*polyethylene terephthalate*) biasa dipakai untuk botol plastik yang transparan seperti botol air mineral dan botol minuman lainnya. Botol atau produk dari bahan plastik ini hanya bisa digunakan sekali pakai saja, karena apabila dipakai berulang partikel berbahaya yang ada di bahan ini akan lepas dan mengakibatkan penyakit kanker dalam jangka panjang.

Kode 2: HDPE (*High density polyethylene*)



HDPE (*high density polyethylene*) mempunyai sifat bahan yang kuat, keras, dan mempunyai ketahanan terhadap suhu tinggi. Bahan ini biasanya dipakai untuk botol susu yang berwarna putih, tupperware, galon air mineral dan sebagainya.

Kode 3: V atau PVC (*Polyvinyl chloride*)



V atau PVC (*polyvinyl chloride*) yaitu plastik yang sulit untuk didaur ulang. Plastik ini bisa ditemukan pada plastik pembungkus.

Kode 4: LDPE (*Low density polyethylene*)



LDPE (*low density polyethylene*) biasanya dipakai untuk tempat pembungkus makanan, plastik kemasan, dan botol-botol. Barang-barang dengan kode jenis ini dapat di daur ulang dan baik untuk barang-barang yang fleksibilitasnya besar akan tetapi kuat. Bahan ini bisa dibilang tidak dapat dihancurkan tetapi tetap baik untuk tempat makanan, karena sulit bereaksi secara kimia dengan makanan yang dikemas.

Kode 5: PP (*Polypropylene*)



PP (*polypropylene*) mempunyai karakteristik transparan, berwarna putih tetapi tidak jernih, dan mengkilap. Polypropylen lebih kuat dan ringan dengan daya tembus uap yang rendah, tahan terhadap lemak, stabil terhadap suhu yang tinggi.

Kode 6: PS (*Polystyrene*)



PS (*polystyrene*) biasanya dipakai sebagai bahan tempat makan styrofoam, tempat minum satu kali pakai, dll. Bahan Polystyrene bisa bocor dan bahan styrene masuk ke dalam makanan ketika makanan tersebut terkena. Bahan Styrene

berbahaya untuk otak, mengganggu hormon pada wanita yang berakibat pada reproduksi, dan syaraf.

Kode 7: *OTHER*



Untuk jenis plastik 7 *Other* ini ada 4 jenis, yaitu SAN (*styrene acrylonitrile*), ABS (*acrylonitrile butadiene styrene*), PC (*polycarbonate*) dan nylon.

Tabel 2.1 merupakan tabel data analisa proximate karakteristik sampah plastik HDPE dan PS yang di lakukan oleh Rachmawati (2015), bahwa plastik HDPE merupakan plastik golongan poliethilen yang hampir sama dengan LDPE memiliki kadar air sebanyak 0,52 dan kadar abu 17,78, sedangkan plastik jenis PS memiliki kadar air sebanyak 0,47 dan kadar abu sebanyak 3,01 lebih rendah di banding plastik jenis poliethilen.

Tabel 2.1 Data Analisis Proximate Karakteristik Sampah Plastik HDPE dan PS

Tipe Plastik	Hasil karakteristik sampah	
	Kadar air (%)	Kadar abu (%)
HDPE	0,52	17,78
PS	0,47	3,01

Rachmawati (2015)

2.3 Katalis

Katalis adalah suatu bahan yang digunakan untuk membantu reaksi yang terjadi dan bahan tersebut tidak berubah karena reaksi yang dialaminya. Prinsip kerja dari katalis yaitu membantu reaksi yang terjadi tetapi ketika reaksi telah selesai, katalis tidak mengalami perubahan komposisi kimia sama sekali. Katalis dapat mempercepat reaksi dan menurunkan temperatur kerja dari suatu reaksi. Hal inilah yang menyebabkan penambahan katalis merupakan langkah yang cukup efisien untuk proses pirolisis. Dalam pemilihan katalis, ada beberapa karakteristik yang harus diperhatikan, yaitu (Aulia, 2017):

a. Pori

Besarnya pori yang terdapat pada katalis akan menyediakan tempat untuk melakukan reaksi. Semakin banyak jumlah pori pada permukaan katalis maka akan semakin mempercepat suatu reaksi. Kesamaan ukuran pori pada katalis akan menghasilkan ikatan rantai karbon yang seragam. Hal inilah yang menyebabkan katalis memiliki kemampuan selektivitas dalam menghasilkan produk.

b. Ketahanan panas

Setiap katalis memiliki temperatur kerja maksimal yang dimilikinya. Ini bergantung dari komposisi penyusun katalis. Jika temperatur kerja dari reaksi terlalu tinggi sementara katalis tidak mampu bekerja dikarenakan temperatur kerja reaksi yang tinggi, maka penambahan katalis tidak dapat membantu reaksi tersebut.

c. Tingkat kristalisasi

Tingkat kristalisasi berkaitan dengan tingkat keasaman yang dimiliki oleh katalis. Asam dapat membantu proses pemutusan rantai karbon yang panjang menjadi lebih pendek.

d. Luas permukaan

Luas permukaan berkaitan dengan pori yang dimiliki oleh katalis. Semakin luas permukaan dari katalis, maka akan semakin banyak juga pori yang disediakan oleh katalis.

e. Sisi aktif

Sisi aktif berkaitan dengan kristalisasi pada katalis. Semakin terkristalisasi suatu katalis maka akan semakin banyak sisi aktif pada katalis tersebut. Di dalam sisi aktif terdapat asam yang dapat membantu proses reaksi. Sisi aktif terdapat di dalam pori katalis dan dapat membantu reaksi yang terjadi. Sisi aktif mempengaruhi kemampuan aktivitas pada katalis.

Kemampuan katalis dalam membantu reaksi dapat diukur dari dua hal, yaitu (Lestari,2012) :

a. Aktifitas

Aktivitas diukur dari seberapa banyak hasil produk yang didapatkan setelah terjadinya reaksi dengan adanya penambahan dari katalis.

b. Selektifitas

Selektivitas diukur dari seberapa banyak produk utama didapatkan dengan meminimalisir produk sampingan yang dihasilkan.

Di Indonesia sendiri yang merupakan negara yang kaya akan sumber daya alam memiliki beberapa jenis katalis alam dan dapat digunakan untuk mempercepat reaksi. Kelemahan katalis yang ada di Indonesia adalah banyaknya zat pengotor sehingga perlu dilakukan pencucian terlebih dahulu sebelum digunakan dan lalu dipanaskan. Selain itu proses ini dapat meningkatkan keasaman dari katalis yang mana keasaman ini dapat membantu mempercepat reaksi yang terjadi (Lestari,2010). Beberapa katalis alam yang ada di Indonesia adalah:

a. Zeolit

Zeolit merupakan mineral alam dengan kandungan utamanya adalah silika dan alumina yang mengandung kation alkali dan alkali tanah. Zeolit memiliki bentuk fisik yang keras dan berwarna putih. Zeolit memiliki sifat mudah melepas air ketika dipanaskan, tetapi dapat dengan mudah mengikat air pada udara lembab. Oleh sebab itu banyak zeolit digunakan sebagai bahan pengering. Zeolit terdiri dari 2 jenis yaitu:

➤ Zeolit Alam

Zeolit alam terbentuk karena adanya proses perubahan alam dari bebatuan vulkanik dan banyak dijumpai dalam lubang-lubang lava dan dalam batuan sedimen. Zeolit alam biasanya masih tercampur dengan mineral lainnya seperti kalsit, gipsum, feldspar dan kuarsa. Zeolit alam dapat ditemukan di sekitaran gunung berapi atau mengendap pada daerah sumber air panas.

➤ Zeolit Sintetik

Zeolit sintetik merupakan zeolit yang dimodifikasi dari susunan atom atau komposisi penyusunnya agar sesuai dengan yang diinginkan. Zeolit sintetik dibuat dengan proses termal dari senyawa – senyawa alumina, silika, dan logam alkali.

Zeolit memiliki sifat sifat diantaranya (Karima, 2012):

- Sifat *Dehidrasi Zeolit*

Sifat ini memiliki pengaruh terhadap sifat adsorpsinya. Zeolit dapat melepaskan molekul air dari dalam rongga permukaan yang terinteraksi dengan molekul teradsorpsi. Jumlah molekul air yang diserap sesuai dengan jumlah pori pori atau jumlah total volume pori pori dari zeolit. Pori - pori pada zeolit akan terbentuk jika zeolit dipanaskan.

- Sifat *Adsorpsi*

Dalam kondisi normal, ruang kosong pada pori – pori zeolit diisi oleh molekul air. Namun jika dipanaskan molekul air akan menguap dan zeolit dapat berfungsi sebagai penyerap gas atau cairan.

- Sifat *Penukar Ion*

Kemampuan zeolit untuk menukar ion bergantung dari banyaknya kation tukar pada zeolit. Sifat dari penukar ion ini bergantung dari ukuran rongga pada zeolit, rasio Si/Al, volume ion dan temperatur. Semakin besar rongga pada zeolit maka akan semakin meningkatkan kemampuan penukar ion nya. Semakin kecil rasio Si/Al, maka akan semakin menambah kapasitas penukaran ion yang dilakukan zeolit. Semakin kecil volume ion, maka

akan semakin cepat laju penukaran ion. Semakin tinggi temperatur maka penukaran ion yang terjadi akan menjadi cepat.

- Sifat katalis

Zeolit dapat digunakan sebagai katalis pada reaksi katalitik. Zeolit memiliki ruang kosong yang membentuk saluran di dalamnya. Jika zeolit digunakan pada proses katalisis maka akan terjadi proses difusi molekul ke dalam ruang bebas antara kristal dan reaksi kimia juga terjadi di permukaan tersebut.

- Sifat Penyaring atau Pemisah

Zeolit memiliki kelebihan diantara katalis lain, yakni dapat menyaring dan memisahkan campuran uap atau air berdasarkan perbedaan ukuran, bentuk, dan polaritas dari molekul yang disaring.

Tabel 2.2 Komposisi zeolit alam

Senyawa yang diukur	Kadar berat (%)
SiO ₂	72,6
Al ₂ O ₃	12,4
Fe ₂ O ₃	1,19
Na ₂ O	0,45
TiO ₂	0,16
MgO	1,15
K ₂ O	2,17
CaO	3,56
Lain	6,32

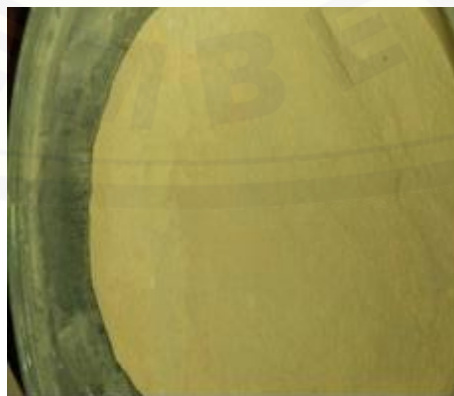
(Aulia, 2017)



Gambar 2.2 Zeolit Alam

b. Kaolin

Kaolin sangat banyak terdapat di Indonesia. Kaolin atau clay biasanya digunakan untuk membuat kerajinan keramik, genteng, dan lain-lain. Kaolin memiliki kandungan yang sangat sedikit besi. Pada umumnya kaolin berwarna putih kecoklatan. Kaolin juga dapat digunakan sebagai pembuat tawas atau aluminium sulfat. Selain itu, dalam bidang industri kaolin juga dapat digunakan untuk pembuatan kertas. Kaolin memiliki nilai plastis yang tinggi bila basah dan dapat mengeras bila kering. Kaolin juga memiliki kapasitas penukar ion sebesar 5 – 15 meq/100 gram. Kaolin juga memiliki daya hantar panas yang sangat rendah. Kekerasan pada kaolin hanya sebesar 2 – 2,5 skala mohs dengan berat jenis sebesar 2,6 – 2,63 gram/cc. Tabel 2.3 menjelaskan komposisi kimia dari kaolin (Jalaluddin, 2005).



Gambar 2.3 Kaolin

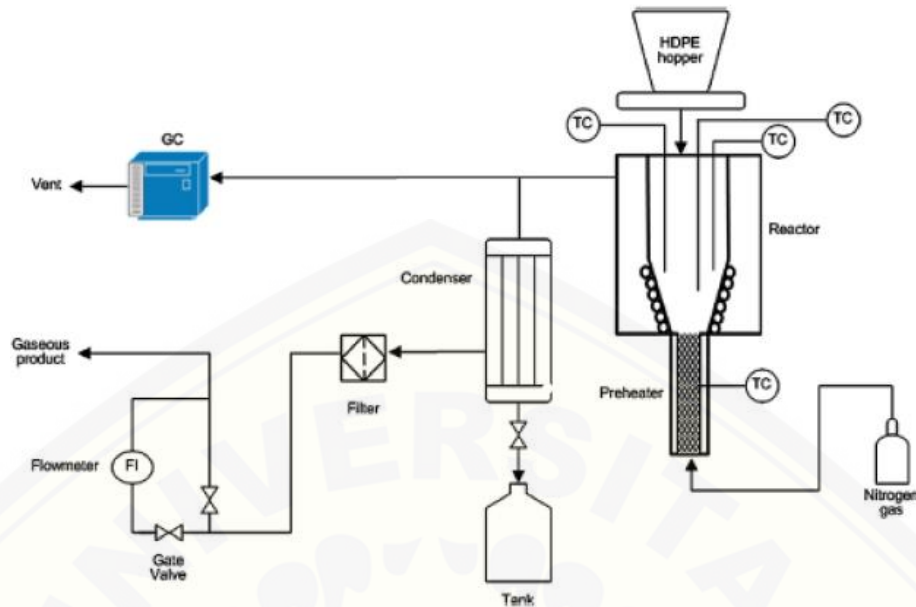
Tabel 2.3 Komposisi Kaolin

Senyawa	Jumlah (%)
Silika (SiO ₂)	61,43
Alumina (Al ₂ O ₃)	18,99
Besi Oksida (Fe ₂ O ₃)	1,22
Kalsium Oksida (CaO)	0,84
Magnesium Oksida (MgO)	0,91
Sulfur Trioksida (SO ₃)	0,01
Potassium Oksida (K ₂ O)	3,21
Sodium Oksida (Na ₂ O)	0,15
H ₂ O hilang pada suhu 105°C	0,6

(Jalaluddin,2005)

2.4 Katalik (*Catalytic Cracking*)

Pada proses pirolisis, penambahan katalis memiliki banyak keuntungan pada hasil dari prosesnya. Kualitas dari bahan bakar yang dihasilkan akan lebih baik saat melakukan proses penambahan katalis. Penggunaan katalis pada metode *cracking* bahan akan menghasilkan reaksi pada suhu yang lebih rendah, sehingga penggunaan energi juga lebih rendah (Achilias dkk, 2007). Proses degradasi menggunakan katalis mampu memecah rantai polimer dalam waktu yang lebih singkat dan distribusi produk yang lebih baik dibandingkan proses pemecahan secara termal (Aguardo dkk, 1997). Proses dengan katalis menghasilkan laju degradasi yang lebih tinggi, sehingga produk cair akan lebih banyak terbentuk. Dengan demikian apabila waktu reaksi lebih singkat, hasil produk yang memiliki viskositas tinggi seperti *wax* akan lebih banyak terbentuk daripada pemecahan menggunakan katalis, karena laju degradasinya yang lebih rendah (Kyong-H dkk, 2003).



Gambar 2.4 Diagram pirolisis HDPE dengan katalis zeolit pada *conical spouted bed reactor* (CBSR) (Sumber: Elordi dkk, 2007)

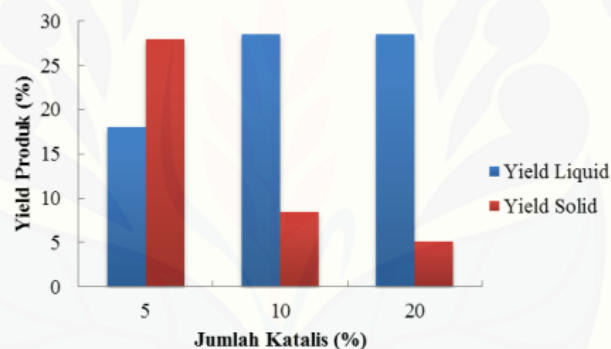
2.5. Peran Katalis Dalam Proses Pirolisis

Katalis mempunyai peranan penting di dalam proses pirolisis karena dapat menurunkan kebutuhannya dibandingkan dengan tanpa katalis. Beberapa jenis katalis yang biasa digunakan peneliti yaitu silika alumina, *fluid catalytic cracking* (FCC), zeolit Y, HZSM-5, MCM-41, dan zeolit alam, (Syamiroh, 2015). Di Indonesia zeolit alam sangat berpotensi sebagai katalis dikarenakan jumlahnya yang banyak sehingga mudah untuk di jumpai, namun penggunaan zeolit alam tidak semerta-merta di gunakan dalam proses pirolisis sampah plastik, perlu dilakukan perlakuan awal sehingga dihasilkan zeolit dengan karakteristik katalis yang diinginkan, aktivasi zeolit alam dapat di lakukan secara fisik maupun secara kimia. Aktivasi secara fisik dilakukan melalui pengecilan ukuran butir, pengayakan, dan pemanasan pada suhu tinggi untuk mengurangi kandungan air dalam zeolit alam, memperbesar pori, serta menghilangkan pengotor-pengotor organik. Sedangkan aktivasi secara kimia di lakukan dengan pengasaman, bertujuan untuk menghilangkan pengotor organik, serta meningkatkan susunan

asam pada zeolit alam yang diyakini dapat mempengaruhi aktivitas zeolit sebagai katalis. Salah satu kelebihan dari zeolit alam adalah memiliki luas permukaan dan keasaman yang mudah di modifikasi (Kumar A P, 2011)

Dari penelitian yang di lakukan oleh Khalimatus sa'diyah dan Sri Rachmania Juliastuti (2015), beliau meneliti pirolisis sampah plastik tipe polipropilen (PP) dengan katalis zeolit alam dari wonosari yang di aktivasi dengan cara fisik dan kimiawi. Dapat diketahui bahwa rumus molekul zeolit adalah $M_{x/n}[(AlO_2)_y].wH_2O$.

Dalam penelitiannya Khalimatus Sa'diyah memvariasikan jumlah katalis yang dia gunakan yaitu 2,5 garm (5%), 5 gram (10%), 10 gram (20%), dengan bahan plastik tipe polipropilen dalam penelitian tersebut di peroleh hasil sebagai berikut :



Gambar 2.5 . % yield produk liquid dan solid untuk berbagai variabel jumlah katalis (Sa'diah K dan S Rachmania, 2015)

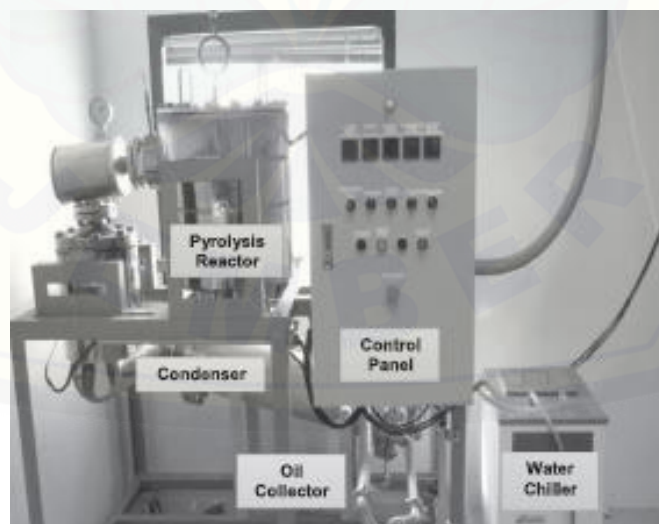
Dari grafik di atas dapat kita lihat perolehan liquid dan solid dari variabel jumlah katalis, semakin banyak jumlah katalis perolehan liquid semakin meningkat dan perolehan solid semakin menurun, dari sini dapat kita tarik kesimpulan biasanya katalis berperan untuk meningkatkan perolehan liquid atau minyak pirolisis dan menurunkan perolehan solid atau arang pirolisis.

Hal tersebut di karenakan peran katalis itu sendiri sebagai membantu mempercepat reaksi, mengurangi kebutuhan energi, dapat menurunkan waktu reaksi, dan bekerja sebagai sifat zeolit itu sendiri yaitu sebagai adsorpsi, penukar ion, bersifat katalis, penyaring dan pemisah, sehingga ketika di lakukan proses

pirolisis dapat menambah perolehan liquid, selain itu dalam penjelasan katalitik bahwasanya katalis mampu memecah rantai polimer lebih cepat.

2.6 Proses Pirolisis

Pirolisis bahan plastik dengan campuran katalis zeolit alam yang di lakukan oleh R.Miandad (2017) menggunakan plastik PS, PE, PP, dan campuran antara PS dan PE , PS dan PP , PE dan PP yang komposisinya seimbang 50% , serta mencampurkan 3 jenis tipe plastik sekaligus seperti PS,PP, dan PE di campur jadi satu dengan komposisi PS 50% sedangkan PE dan PP sama 25%, dan campuran dari 4 jenis plastik yaitu PS,PE,PP,dan PET dengan komposisi PS 40%, PP 20%,PE 20%,PET 20%, dalam proses yang berbeda selain mencampurkan katalis zeolit alam , juga menggunakan katalis zeolit sintetis di proses yang lainnya untuk perbandingan dalam proses pirolisis menggunakan katalis tersebut memperoleh minyak hasil pirolisis berapa banyak , dalam proses pirolisis tentunya terdapat alat yang di gunakan untuk melangsungkan proses pirolisis tersebut, R.Miandad menggunakan reaktor pirolisis skala pilot kecil , berikut gambar alat yang di gunakan R.Miandad untuk melakukan proses pirolisis :



Gambar 2.6 *Small pilot-scale pyrolysis reactor* (Sumber:R.Miandad,2017)

Dalam proses pirolisis ini R.Miandad menggunakan temperatur 450°C dan katalis sebanyak 0,1 kg untuk semua percobaannya dengan waktu selama 75 menit untuk semua percobaannya . Percobaan pertama menggunakan plastik tipe PS (*polystyrene*) dan katalis zeolit alam mendapatkan hasil liquid atau minyak hasil pirolisis sebanyak 54 % sedangkan percobaan plastik PS (*polystyrene*) dengan katalis zeolit sintetis mendapatkan liquid atau minyak hasil pirolisis sebanyak 50 %. Percobaan kedua yaitu menggunakan plastik tipe PP(*polypropylene*) dengan katalis zeolit alam mendapat liquid sebanyak 14 % sedangkan PP (*polypropylene*) dengan menggunakan katalis zeolit sintetis memperoleh liquid sebanyak 26 %. Percobaan ketiga dengan menggunakan plastik tipe PE (*polyethylene*) dengan katalis zeolit alam mendapatkan liquid sebanyak 16 % sedangkan PE (*polyethylene*) dengan katalis zeolit sintetis mendapatkan liquid sebanyak 16 % sama , dalam percobaan tipe plastik tunggal ini nilai tertinggi pendapatan liquid yaitu plastik tipe PS (*polystyrene*) dengan pendapatan sebanyak 54 %.

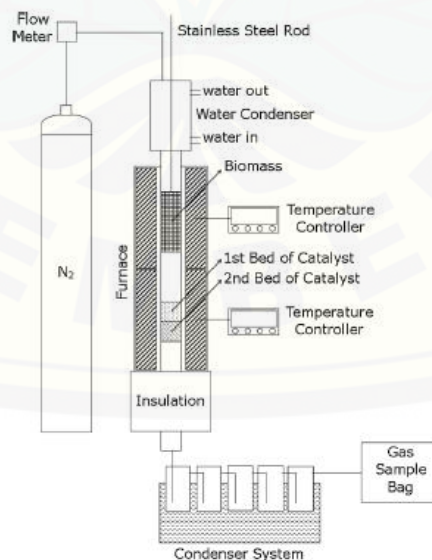
Untuk percobaan campuran plastik yang pertama yaitu campuran antara plastik PS (*polystyrene*) dan PP (*polypropylene*) dengan katalis zeolit alam memperoleh liquid sebanyak 50 % sedangkan percobaan menggunakan katalis zeolit sintetis memperoleh liquid sebanyak 40 %. Percobaan kedua campuran plastik tipe PS (*polystyrene*) dan PE (*polyethylene*) dengan menggunakan katalis zeolit alam memperoleh liquid sebanyak 34 % sedangkan dengan menggunakan katalis zeolit sintetis memperoleh liquid sebanyak 34 % juga. Percobaan ketiga campuran plastik tipe PE (*polyethylene*) dan PP (*polypropylene*) dengan menggunakan katalis zeolit alam memperoleh liquid sebanyak 18 %, sedangkan menggunakan katalis zeolit sintetis mendapatkan 22 % , dalam percobaan pencampuran dua tipe plastik ini pendapatan liquidnya masih relatif rendah di bandingkan dengan percobaan plastik tipe tunggal.

Percobaan selanjutnya adalah campuran dari tiga tipe plastik yaitu PS (*polystyrene*), PP (*polypropylene*), PE (*polyethylene*) ketika di proses dengan katalis zeolit alam mendapatkan liquid sebanyak 38 % sedangkan diproses dengan menggunakan katalis zeolit sintetis memperoleh liquid sebanyak 60 %, dalam

percobaan pencampuran tiga tipe plastik ini memperoleh liquid yang meningkat signifikan ketika pemrosesannya dengan menggunakan katalis zeolit sintetis yaitu sebanyak 60 %.

Percobaan terakhir adalah campuran dari empat tipe plastik yaitu PS (*polystyrene*), PP (*polypropylene*), PE (*polyethylene*), dan PET (*Polyethylene terephthalate*) ketika di proses dengan katalis zeolit alam mendapatkan liquid sebanyak 22 % sedangkan diproses dengan menggunakan katalis zeolit sintetis memperoleh liquid sebanyak 56 %, dalam percobaan ini terjadi perbedaan perolehan liquid yang selisihnya mencapai 34 % lebih banyak ketika menggunakan katalis zeolit sintetis, di bandingkan dengan percobaan sebelumnya percobaan penyampuran empat tipe plastik ini lumayan mendapatkan hasilnya. (Sumber : R Miandad,2017)

Selain R Miandad,dkk yang meneliti pirolisis ada juga peneliti pirolisis dengan metode katalis bertahap beliau yaitu Devy K. Ratnasari,dkk namun penelitiannya tentang bio massa yang di proses pirolisis dengan menggunakan katalis bertahap, tujuannya dari penelitian ini adalah untuk meningkatkan kualitas hasil bio-minyak dari suatu proses pirolisis, adapun gambar skema dari percobaan tersebut sebagai berikut :



Gambar 2.7 Schematic Diagram of the Two-Stage Catalytic Pyrolysis Reactor.

(Devy K. Ratnasari dkk)

Sistem reaktor pirolisis cepat katalitik terdiri dari fixed reaktor unggun dilengkapi dengan kondensor minyak dan sampel koleksi tas gas. Awalnya, reaktor dipanaskan hingga suhu yang dipilih untuk percobaan. Setelah suhu dalam tungku mencapai tingkat yang diinginkan, batang baja tahan karat diaktifkan untuk mendorong yang dapat digerakkan wadah yang mengandung biomassa yang tidak bereaksi dari kondensor air tabung ke tengah tungku. Pirolisis dan katalisis keduanya mengalami profil temperatur yang sama. Volume yang berevolusi dari sampel (10 g) dilewatkan langsung ke tempat tidur ex-situ yang mengandung katalis yang sebelumnya dipanaskan. Pirolisis termal, serta pirolisis katalitik dengan katalis bertahap dan dicampur katalis, dilakukan pada suhu 500 ° C. Lebih lanjut, katalitik pirolisis dengan katalis bertahap diuji pada 400 dan 600 ° C untuk menyelidiki pengaruh suhu pada kualitas bio-minyak. (Devy K. Ratnasari dkk)

Dengan adanya teori katalitik bertingkat seperti itu sangat perlu di lakukan percobaan penelitian pirolisis sampah plastik dengan metode katalis bertingkat yang bertujuan untuk meningkatkan volume hasil minyak pirolisis tersebut.

2.7 Bahan Bakar

Bahan bakar adalah sesuatu zat yang jika dipanaskan akan mengalami reaksi kimia dengan oksidator (biasanya oksigen di dalam udara) untuk melepaskan panas. Bahan bakar komersial mengandung karbon, hidrogen dan senyawa-senyawa lain (sehingga bahan bakar sering di sebut bahan bakar hidrokarbon) yang menghasilkan suatu nilai kalor (heating value).

2.6.1. Bahan Bakar Cair

Bahan bakar cair sebagian besar di dapatkan dari turunan minyak mentah. Untuk masa yang akan datang dimungkinkan di dapat dari batubara atau biomass. Minyak mentah merupakan campuran dari hidrokarbon cair (84%), dengan jumlah sulfur (3%), nitrogen (0,5%), oksigen (0,5%), dan beberapa metal dan mineral. Untuk mendapatkan bahan bakar cair yang ada di pasaran maka minyak mentah perlu refininf yang meliputi distillation, cracking, forming, dan impurity removal.

2.6.2. Karakteristik Bahan Bakar Cair

1. *Heating value* (nilai kalor).

2. **Densitas** adalah pengukuran massa setiap satuan volume benda, semakin tinggi massa jenis benda, maka semakin besar pula massa setiap volumenya.
3. **Specific gravity** (sg) yang merupakan perbandingan antara densitas bahan bakar dan air pada temperatur yang sama ($\equiv \rho_{bb}/\rho_{air}$ at 16°C). Sering juga digunakan API (*American Petroleum Industry*) **specific gravity** (G) yang besarnya:

$$G = 141,5/sg - 131,5.$$

4. **Viscosity** (kekentalan) menunjukkan mudah tidaknya bahan bakar cair dipompa dan dikabutkan. Semakin tinggi temperatur maka viskositas semakin turun, yang artinya semakin mudah mengalir dan mengalami atomisasi.
5. **Flash point** merupakan temperatur maksimal dimana bahan bakar dapat ditangani tanpa adanya resiko apapun.
6. **Autoignition temperature** merupakan temperatur dimana bahan bakar bisa menyala dengan sendirinya dengan tanpa penyalaan.
7. **Octane number ON** (bilangan oktan) menunjukkan ketahanan bahan bakar dalam motor bensin untuk tidak mengalami *knocking* (terjadi karena pembakaran terlalu dini). Semakin tinggi **ON** semakin susah terjadi ketukan.
8. **Cetane number CN** (bilangan cetan) menunjukkan tendensi keterlambatan penyalaan bahan bakar (delay Ignition) dalam motor diesel. Semakin tinggi **CN** semakin mudah terjadi penyalaan.
9. **Smoke point** menunjukkan tendensi pembentukan jelaga terutama dalam turbin gas. Semakin tinggi *smoke point* semakin susah membentuk jelaga.

(sumber : Erna Pratiwi, 2014)

2.8 Hipotesis

Berdasarkan tinjauan pustaka yang telah dijabarkan di atas, maka dapat diambil hipotesis bahwa:

- a. Dengan proses pirolisis, plastik yang menghasilkan minyak hasil pirolisis yang lebih banyak yaitu plastik PS dari pada LDPE.
- b. Penambahan tingkatan pada katalis zeolit alam dapat menambah volume hasil perolehan minyak pirolisis.

2.9 Pengujian Hipotesis

Hipotesis statistik yaitu pernyataan atau dugaan mengenai satu atau lebih populasi. Hipotesis yang diharapkan akan ditolak dengan penggunaan istilah hipotesis nol. Kemudian istilah itu telah digunakan pada sembarang hipotesis yang ingin diuji dilambangkan dengan H_0 . Penolakan H_0 mengakibatkan penerimaan suatu hipotesis alternatif yang dilambangkan dengan H_1 (Walpole, 1995).

Terdapat langkah – langkah pengujian hipotesis mengenai parameter populasi θ lawan suatu hipotesis alternatifnya yang sering diringkas dibawah ini:

- Menyatakan hipotesis nol-nya ($H_0 : \theta = \theta_0$).
- Memilih hipotesis alternatif H_1 yang sesuaikan di antara $\theta > \theta_0$, $\theta < \theta_0$.
- Menentukan taraf nyatanya α .
- Pilih statistik uji yang sesuai,
- Hitung nilai uji statistiknya.
- Menurut kaidah ekor kanan keputusan tolak H_0 jika nilai 't' hasil lebih besar dari 't' tabel. Sedangkan kaidah ekor kiri keputusan tolak H_0 jika nilai 't' hasil lebih kecil dari 't' tabel.

Pada perbandingan sampah plastik terdapat 2 pengaruh pemberian penggunaan plastik *PS* dan plastik *LDPE* adalah $\mu_1 = \mu_2$.

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 \text{ atau } \mu_1 - \mu_2 = d_0 = 0$$

$$H_1 : \mu_1 > \mu_2 \text{ atau } \mu_1 - \mu_2 > d_0 = 0$$

Keterangan;

H_0 = hipotesis nol

H_1 = hipotesis alternatif

μ_1 = rata - rata populasi *PS*

μ_2 = rata - rata populasi *LDPE*

t_a = nilai peubah T, yang berlaku $P(T > t_a) = \alpha$

Pada perbandingan tingkatan katalis terdapat 3 pengaruh pemberian penggunaan tanpa katalis, satu tingkat katalis, dan dua tingkat katalis adalah $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3$.

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 \text{ atau } \mu_1 - \mu_2 - \mu_3 = d_0 = 0$$

$$H_1 : \mu_1 < \mu_2 < \mu_3 \text{ atau } \mu_1 - \mu_2 - \mu_3 < d_0 = 0$$

Keterangan;

H_0 = hipotesis nol

H_1 = hipotesis alternatif

μ_1 = rata - rata populasi *tanpa katalis*

μ_2 = rata - rata populasi *1 tingkat katalis*

μ_3 = rata - rata populasi *2 tingkat katalis*

t_a = nilai peubah T, yang berlaku $P(T < t_a) = \alpha$

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2 - d_0}{s_{gab} \sqrt{\left(\frac{1}{n_1}\right) + \left(\frac{1}{n_2}\right)}}$$

$$s_{gab} = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} \quad (2.9)$$

Keterangan :

\bar{x}_1 = Rata – rata sampel pertama

\bar{x}_2 = Rata – rata sampel kedua

n_1 = Jumlah sampel pertama

n_2 = Jumlah sampel kedua

s_1^2 = varian / keragaman sampel *pertama*

s_2^2 = varian / keragaman sampel *kedua*

Selanjutnya mengetahui nilai derajat kebebasan (df),

$$df = n - k \quad (3.0)$$

Keterangan :

n = jumlah data

k = variabel

Adapun rumus dari varian sebagai berikut;

$$s^2 = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n \cdot (n-1)} \quad (3.1)$$

Keterangan :

s^2 = varian

$\sum_{i=1}^n x_i$ = Jumlah total data

$\sum_{i=1}^n x_i^2$ = Jumlah total dari data yang dikuadratkan

$(\sum_{i=1}^n x_i)^2$ = Jumlah total data dikuadratkan

n = jumlah data

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu dan tempat pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai berikut :

Waktu : Agustus – September 2019

Tempat : Laboratorium Konversi Energi Fakultas Teknik
Universitas Jember

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat yang di gunakan pada penelitian ini sebagai berikut :

- a. Reaktor pirolisis.
- b. Timbangan.
- c. Pipa tembaga.
- d. Kompor gas.
- e. *Thermogun*.
- f. Kondensor.
- g. Gelas ukur.
- h. Sekat katalis bertingkat.

3.2.2 Bahan

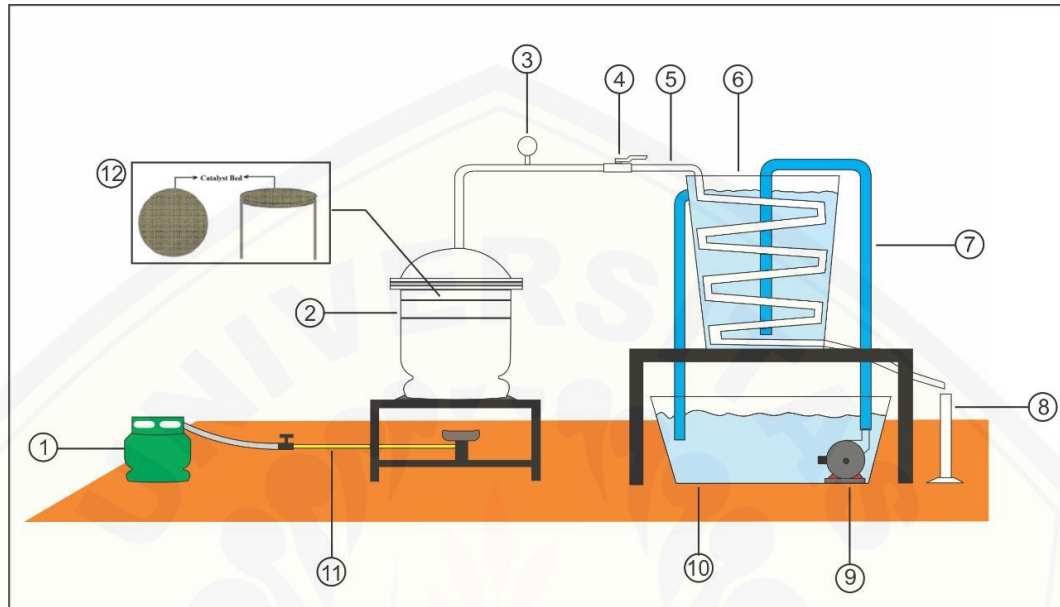
Bahan yang di gunakan pada penelitian ini sebahai berikut :

- a. Plastik bertipe *Polystyrene* (PS) dan *Low Density PolyEthylene* (LDPE).
- b. Katalis zeolit alam.

3.3 Skema Alat

Proses pirolisis bahan plastik dan katalis zeolit alam bertingkat dilakukan didalam reaktor dengan pemanas berupa kompor gas. Bahan plastik yang diproses merupakan sampah plastik rumah tangga tang bertipe *Polystyrene* (PS) dan *Low Density PolyEthylene* (LDPE). Katalis yang digunakan yaitu katalis zeolit alam yang nantinya penggunaannya terletak di dalam reaktor yang sudah ada skatnya

antara plastik dan katalis zeolit alam. Alat yang digunakan pada proses ini dijelaskan sebagai berikut :



Gambar 3.1 Skema Alat Pirolisis Bahan Plastik

Keterangan:

- | | |
|--|---------------------------------|
| 1. Tabung <i>Liquified Petroleum Gas</i> | 7. Pipa Air |
| 2. Reaktor | 8. Gelas Penampung Minyak |
| 3. <i>Pressure gauge</i> | 9. Pompa Air |
| 4. Katup Pembuka | 10. Bak Penampung Air Dingin |
| 5. Pipa Tembaga | 11. Kompor/Pembakar |
| 6. Tabung Kondensasi | 12. Catalys Bed (Skat Katalis) |

Keterangan dan penjelasannya :

1. Tabung *Liquified Petroleum Gas*.

Tabung LPG digunakan sebagai sumber bahan bakar gas untuk memanaskan reaktor melalui pembakar.

2. Reaktor.

Reaktor ini berfungsi sebagai media pemanas yang digunakan untuk merubah plastik menjadi uap dengan cara dipanaskan dengan suhu tertentu atau dapat juga disebut melalui proses pirolisis.

3. *Pressure gauge*.

Pressure gauge berfungsi untuk mengukur tekanan yang dihasilkan pada tabung reaktor.

4. Katup pembuka.

Katup pembuka berfungsi untuk mengatur aliran uap panas yang keluar dari reaktor.

5. Pipa tembaga

Pipa tembaga berfungsi sebagai penyalur uap panas yang di hasilkan dari tabung proses pirolisis yang di hubungkan dengan kondensor untuk proses kondensasi.

6. Tabung Kondensor.

Kondensor berbentuk tabung yang digunakan untuk mendinginkan uap hasil pirolisis menggunakan pipa tembaga dengan media pendingin berupa air.

7. Pipa Air

Pipa air berfungsi untuk mensirkulasikan air dingin dari bak penampung ke tabung kondensor

8. Gelas Penampung Minyak.

Tempat minyak hasil pendinginan yang mengalir dan akan ditampung, yang nantinya akan diuji dan dianalisa.

9. Pompa air.

Pompa air berfungsi untuk memompa air dari wadah penampung menuju kondensor.

10. Bak Penampung Air Dingin.

Wadah air digunakan untuk menampung air pendingin yang masuk ke tabung kondensor.

11. Kompor/Pembakar.

Pembakar berfungsi sebagai pemanas reaktor menggunakan bahan bakar berupa gas.

12. *Catalyst Bed* (skat katalis)

Skat ini berfungsi sebagai pemisah antara bahan baku plastik dan katalis, selain itu juga digunakan sebagai pemisah katalis tahap satu dan tahap dua dalam proses pirolisis

3.4 Metode Penelitian

3.4.1 Studi Literatur

Penelitian tentang pirolisis bahan plastik dari sampah rumah tangga bertipe *Polystyrene* (PS) dan *Low Density PolyEthylene* (LDPE) dilakukan dengan melakukan studi literatur pada jenis katalis yang digunakan, variasi katalis bertingkat dengan suhu 400°C dan waktu 50 menit, untuk menghasilkan minyak yang digunakan untuk bahan bakar.

3.4.2 Konsultasi

Konsultasi dengan dosen pembimbing maupun dosen lainnya untuk mendapatkan petunjuk – petunjuk tentang proses pirolisis bahan plastik dari sampah bertipe *Polystyrene* (PS) dan *Low Density PolyEthylene* (LDPE) dengan katalis.

3.4.3 Eksperimental

Melakukan uji coba katalis bertingkat dengan bahan plastik sampah bertipe *Polystyrene* (PS) dan *Low Density PolyEthylene* (LDPE) yang berguna untuk memperoleh data serta di lakukan analisa.

3.4.4 Analitik

Analisa terhadap hasil pirolisis bahan plastik sampah bertipe *Polystyrene* (PS) dan *Low Density PolyEthylene* (LDPE) dengan katalis zeolit alam bertingkat.

3.5 Variabel

3.5.1. Variabel Bebas

Variabel bebas dari penelitian ini yaitu sampah plastik bertipe *Polystyrene* (PS) dan *Low Density PolyEthylene* (LDPE) sebanyak 300 gram dengan katalis zeolit alam sebanyak 100 gram dilakukan dengan bertingkat. Dengan skema percobaan sebagai berikut :

a. Jenis Material

100 % (300 gram) *Polystyrene* (PS), 100 % (300 gram) *Low Density PolyEthylene* (LDPE).

b. Jumlah Katalis

Tanpa katalis sebanyak 0 gram katalis zeolit alam, satu tingkat katalis sebanyak 100 gram katalis zeolit alam, dua tingkat katalis sebanyak 200 gram katalis zeolit alam.

2.5.2. Variabel Terikat

Variabel terikat dari penelitian ini yaitu volume minyak dari proses pirolisis sampah plastik bertipe *Polystyrene* (PS) dan *Low Density PolyEthylene* (LDPE) dengan katalis zeolit alam.

2.5.3. Variabel Kontrol

Variabel kontrol untuk membantu mengontrol berlangsungnya penelitian ini yaitu waktu yang digunakan dalam proses penelitian yaitu 50 menit dan suhu sebesar 400°C.

3.6 Prosedur Penelitian

Prosedur yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Mengumpulkan sampah plastik yang bertipe *Polystyrene* (PS) *Low Density PolyEthylene* (LDPE).
- b. Membersihkan sampah plastik yang bertipe *Polystyrene* (PS) *Low Density PolyEthylene* (LDPE) serta memotongnya menjadi serpihan – serpihan kecil.
- c. Menyiapkan katalis zeolit alam.
- d. Menyiapkan alat pirolisis dan mengeceknya.

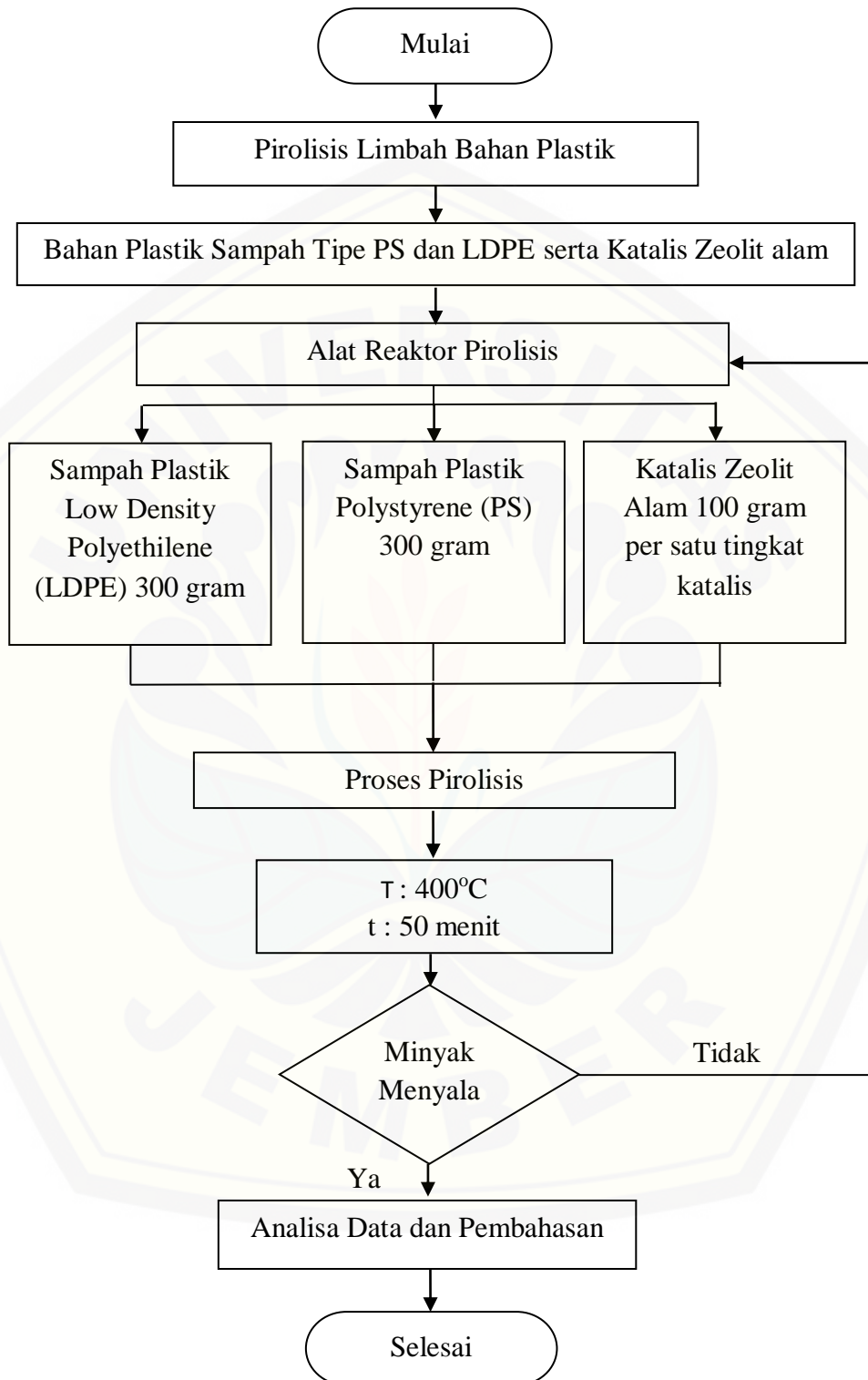
- e. Melakukan proses pirolisis dengan memasukkannya plastik ke dalam reaktor dan memasukkan katalis zeolit alam ke dalam reaktor yang sudah ada skatnya.
- f. Mengumpulkan data hasil pirolisis
- g. Mengolah data hasil pirolisis sampah plastik yang di kelompokkan berdasarkan variasi tanpa menggunakan katalis, katalis satu tingkat, dan katalis dua tingkat.
- h. Menganalisa pengaruh variasi proses pirolisis sampah plastik tanpa menggunakan katalis, menggunakan katalis satu tingkat, dan menggunakan katalis dua tingkat.
- i. Melakukan penarikan kesimpulan dari hasil penelitian

3.7 Pengambilan Data

Tabel 3.1 Pengambilan Data Hasil Pirolisis

Tipe Plastik	T/t	Katalisasi	Tekanan (P) (psi)	Volume Minyak (ml)			Volume Rata-Rata (ml)	Hasil Minyak (gram)
				1	2	3		
<i>Low Density PolyEthylene (LDPE)</i>	400°C/50s	Tanpa katalis						
		1 tingkat katalis						
		2 tingkat katalis						
<i>Poly Styrene (PS)</i>	400°C/50s	Tanpa katalis						
		1 tingkat katalis						
		2 tingkat katalis						

3.8 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.2 Diagram Alir

BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Proses pirolisis yang tepat untuk sampah plastik PS dan LDPE yaitu dengan menambahkan tingkatan katalisnya, karena dengan menambahkan tingkat katalis perolehan minyaknya semakin bertambah, pertambahannya mencapai 9%. Namun hasil uji laboratorium nilai densitas dan nilai kalor, penambahan tingkat katalis tidak mempengaruhi perubahan nilai kalor dan nilai densitas pada minyak pirolisis.
2. Volume yang dihasilkan dari proses pirolisis sampah plastik PS dan LDPE telah didapat volume tertinggi pada plastik PS dengan 2 tingkat katalis sebanyak 53,554 % setara 182 ml sedangkan volume tertinggi pada plastik LDPE dengan 2 tingkat katalis sebanyak 44,576 % setara 175 ml.

5.2 Saran

Dari penelitian ini saran yang perlu di perhatikan sebagai berikut:

1. Untuk menggunakan kompor listrik sebagai pemanas reaktornya, agar dapat mudah mengontrol panas.
2. Untuk penelitian selanjutnya dapat menggunakan jenis plastik lain selain LDPE dan PS.
3. Untuk penelitian selanjutnya dapat menggunakan jenis zeolit lain seperti kaolin atau zeolit sintetis.
4. Untuk penelitian selanjutnya dapat menambahkan tingkatan katalisnya lebih banyak lagi.

DAFTAR PUSTAKA

- Achilias, D. S., C. Roupakias, P. Megalokonomos, A. A. Lappas, E. V. Antonakou. 2007. Chemical Recycling of Plastic Wastes made from Polyethylene (LDPE and HDPE) and Polypropylene (PP). *Journal of Hazardous Materials* 149: 536-542.
- Aguado, J., D. P. Serrano, J. M. Escola, E. Garagorri. 1997. Catalytic Conversion Of Low-Density Polyethylene Using A Continuous Screw Kiln Reactor. *Journal Energy and Fuels* 11: 1225-1231.
- Anuar Sharuddin, S. D., F. Abnisa, W. M. A. W. Daud, dan M. K. Aroua. 2016. A Review on Pyrolysis of Plastic Wastes. *Energy Convension and Management* 115: 308-326.
- Aulia Putra, A. 2017. *Efek katalis zeolit alam dalam proses pirolisis non isothermal*. Universitas Lampung. Hal : 13, 18
- Basriyanta. 2007. *Memanen Sampah*. Yogyakarta: Kanisius, 18-19.
- Basu, P. 2010. *Biomass Gasification and Pyrolysis Practical Design*. United States: Elsevier.Inc.
- Devy, K. Ratnasari, Weihong Yang, Pär G. Jönsson. 2018. Two-stage ex-situ catalytic pyrolysis of lignocellulose for the production of gasoline-range chemicals. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*
- Elordi G, Olazar M, Castaño P, Artetxe M, Bilbao J. 2012. Polyethylene Cracking on a spent FCC Catalyst in a Conical Spouted Bed. *Industrial and Engineering Chemistry Research* 51(43): 14008-14017.
- Erna pratiwi, 2014. Bahan bakar dan karakteristiknya. Institut teknologi 10 november-2010 universitas lampung mangkurat- 2014.
- Jalaluddin. 2005. "Pemanfaatan Kaolin Sebagai Bahan Baku Pembuatan Alumunium Sulfat dengan Metode Adsorpsi". Jurnal sistem Teknik Industri Vol 6. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Karima, Femmy. 2012. "Signifikasi Penggunaan Zeolit Alam pada Proses Ozonasi Untuk Disinfeksi Hama Bakteri". Departemen Teknik Kimia. Depok.
- Kementrian Perindustrian. 2013. *Industri Plastik Terbatas Kapasitas Produksi*. Jakarta.

- Kumar, S dan Singh, R.K. 2011. Recovery of Hydrocarbon Liquid From Waste High Density Polyethylene by Thermal Pyrolysis. *Brazilian Journal of Chemical Engineering* 28: 659-667.
- Kumar A P. 2011, *Studies on process optimization for production of liquid fuels from waste plastics*, Chemical Engineering Department, National Institute of Technology. Reurkela 769008
- Kurniawan, A. 2012 *Mengenal Kode Kemasan Plastik yang Aman*
- Kusnoputranto, H. 2000. *Kesehatan Lingkungan*. Depok: FKM UI.
- Kristianto. 2004. *Ekologi Industri*. Yogyakarta: Andi. Hal 71-75, 83-84, 155, 157, 169-172.
- Lee, K. H., S. G. Jeon, K. H. Kim, N. S. Noh, D. H. Shin, J. Park, Y. Seo, J. J. Yee, G. T. Kim. 2003. Thermal and Catalytic Degradation of Waste High-density Polyethylene (HDPE) Using Spent FCC Catalyst. *Korean J. Chem. Eng.* 20(4): 693 – 697.
- Lestari Y, Dewi. 2010. “Kajian Modifikasi dan Karakteristik Zeolit dari Berbagai Negara”. Prosiding seminar nasional kimia dan pendidikan kimia 2010. Yogyakarta.
- Lestari Y, Dewi. 2012. “Pemilihan Katalis yang Ideal”. Prosiding seminar nasional penelitian, pendidikan, dan penerapan MIPA Fakultas MIPA Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta.
- Mujiarto, I. 2005. *Sifat dan karakteristik material plastik dan bahan aditif*. Edisi Desember 3(2).
- Miandad, R., M. A. Barakat, A. S. Aburiazaiza, M. Rehan, A.S. Nizami. 2016. Catalytic Pyrolysis of Plastic Waste: a Review. *Process Safety and Environment Protection* 102: 882-838.
- Miandad, R., M.A. Barakat, M. Rehan, A.S. Aburiazaiza, I.M.I. Ismail, A.S. Nizami. 2017. Plastic waste to liquid oil through catalytic pyrolysis using natural and synthetic zeolite catalysts. *Waste Management*.
- Rachmawati, Q., Herumurti, W. 2015. Pengolahan Sampah secara Pirolisis dengan Variasi Rasio Komposisi Sampah dan Jenis Plastik. *Jurusan Teknik Lingkungan. JURNAL TEKNIK (ITS)*.
- Ramon, Arianto. 2015. Karakteristik Penanganan Sampah Rumah Tangga di Kota Bebgkulu.

- Rodiansono, Trisunaryanti W, dan Triyono. 2007. *Pembuatan, Karakterisasi dan Uji Aktivitas Katalis NiMo/Z Pada Reaksi Hidrorengka Menjadi Fraksi Bensin*. Berkala MIPA. 17: 2.
- Sabarodin, A dan Dewanto. 1998. *Pembuatan Minyak Bakar dari Sampah Plastik Sebagai Sumber Energi Alternatif*. Fakultas Teknik UGM. Yogyakarta. Hal 9-12.
- Sirait, M. 2009. *Sulap Sampah Plastik Keras Jadi Jutaan Rupiah*. Yogyakarta: PT. Bentang Pustaka.
- Soemirat, Juli. 2000. *Kesehatan Lingkungan*. Bandung: Gadjah Mada University Press.
- Surono, U.B. 2013. *Berbagai Metode Konversi Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak*. *Jurnal Teknik* 3(1) ISSN 2088-3676.
- Syamsiro, M. 2015. *Kajian Pengaruh Penggunaan Katalis Terhadap Kualitas Produk Minyak Hasil Pirolisis Sampah Plastik*. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Janabadra.
- UNICEF. 2006. *Solid and Liquid Waste Managemen In Rural Areas*. India: Departement of Drinking Water Supply
- Walpole, Ronald E. 1995. *Prngantar Statistika*. Edisi ke-3. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.

LAMPIRAN

A. LAMPIRAN FOTO



Gambar A1. Serangkaian alat pirolisis



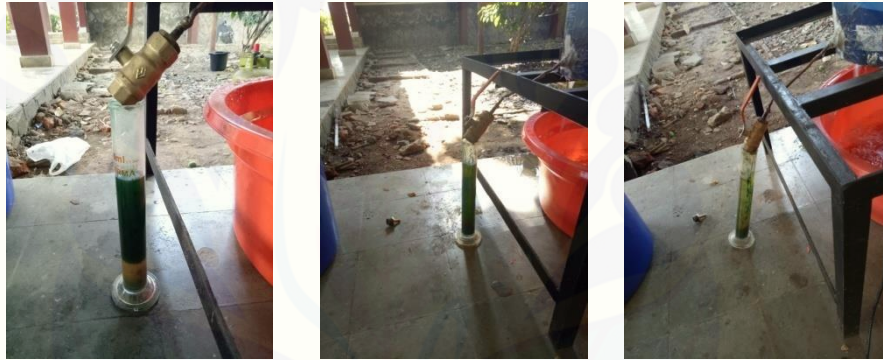
Gambar A2. Sampah plastik LDPE



Gambar A3. Sampah plastik PS



Gambar A4. Katalis zeolit alam



Gambar A5. Hasil minyak pirolisis sampah plastik LDPE



Gambar A6. Hasil minyak pirolisis sampah plastik PS



Gambar A7. Arang LDPE



Gambar A8. Arang PS



Gambar A9. Residu LDPE



Gambar A10. Residu PS



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS JEMBER
FAKULTAS FARMASI

Jalan Kalimantan 1 No.2 Kampus Tegaldoto Jember 68121
Telp. / Fax. (0331) 324736, Web : <http://farmasi.arsj.ac.id/>

DATA PENGUJIAN MASSA JENIS MINYAK PIROLISIS SAMPAH PLASTIK

Nama : YUDI KENANG P
NIM : 151910101002

Prodi : S1 Teknik Mesin
Fakultas : Teknik

Volume Piknometer : 24,728 ml

Massa Piknometer : 33,9345 gram

Nama Sampel	Pengulangan	Massa (gram)	Massa Cairan (gram)	Massa Jenis (gram/cm ³)
LDPE Tanpa Katalis	1	52,9456	19,0111	0,768809
	2	52,9729	19,0384	0,769913
	3	52,9723	19,0378	0,769888
	Rata-rata	52,9636	19,0291	0,769537
LDPE 1 Tingkat Katalis	1	52,7922	18,8577	0,762605
	2	52,8364	18,9019	0,764393
	3	52,8526	18,9181	0,765048
	Rata-rata	52,82707	18,89257	0,764015
LDPE 2 Tingkat Katalis	1	52,7883	18,8538	0,762447
	2	52,8360	18,9015	0,764376
	3	52,8680	18,9335	0,765670
	Rata-rata	52,83077	18,89627	0,764165
PS Tanpa Katalis	1	55,5721	21,6376	0,875024
	2	55,5562	21,6217	0,874381
	3	55,5851	21,6506	0,875550
	Rata-rata	55,57113	21,63663	0,874985
PS 1 Tingkat Katalis	1	55,7313	21,7968	0,881462
	2	55,7371	21,8026	0,881697
	3	55,7350	21,8005	0,881612
	Rata-rata	55,73447	21,79997	0,881590
PS 2 Tingkat Katalis	1	55,7491	21,8146	0,882182
	2	55,7630	21,8285	0,882744
	3	55,7780	21,8435	0,883351
	Rata-rata	55,76337	21,82887	0,882759

Jember, 30 Oktober 2019

Mengetahui,

Kabag. Kimia Farmasi Fakultas Farmasi
Universitas Jember



[Signature]
Dwi Noko Pratoko, S. Farm., M.Sc., Apt.
NIP. 198504282009121004

Gambar A11. Hasil uji nilai densitas/massa jenis




KEMENTERIAN RISET TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK JURUSAN MESIN
LABORATORIUM MOTOR BAKAR
Jl. Mayjen Haryono 187 Malang 65145
Web : motorbakar.ub.ac.id Email : LaboratoriummotorbakarCEL@gmail.com



LAMPIRAN
LEMBAR DATA HASIL PENGUJIAN
075/Pengujian/CEL/FT/2019
Pengujian Nilai Kalor (*Bomb Calorimeter*)

Sampel	Massa (gram)	Suhu Awal (°C)	Suhu Akhir (°C)	Panjang Kawat Sisa (cm)	Selisih Suhu (°C)	Selisih Kawat (cm)	Abu	Standar Benzoid Kalibrasi	Nilai Kalor (cal/gram)
LDPE	0,49	27,42	29,53	2,8	2,11	7,2	10	2425,656	5081,165997
LDPE Katalis 1	0,49	26,42	28,35	1,6	1,93	8,4	10	2425,656	4641,787917
LDPE Katalis 2	0,51	25,55	28,02	1	2,47	9	10	2425,656	5951,062477
PS	0,55	26,44	28,77	2,2	2,33	7,8	10	2425,656	5615,656662
PS Katalis 1	0,49	26,43	28,57	3,2	2,14	6,8	10	2425,656	5154,855677
PS Katalis 2	0,49	25,76	27,65	2,1	1,89	7,9	10	2425,656	4545,911677

Nama : 1. Arief Putra Mada Adillah
2. Yudi Kenang Pamungkas
NIM : 1. 151910101004
2. 151910101002
Jurusan : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Universitas : Universitas Jember

Mengetahui
Kepala Laboratorium

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

Gambar A12. Hasil uji nilai kalor



Gambar A13. Piknometer



Gambar A14. Boom kalorimeter

B. LAMPIRAN TABEL

Tabel B1. Data hasil pirolisis dalam bentuk (kg)

Tipe Plastik	Temperatur (T)/Waktu(t)	Katalisasi	Tekanan (P) (kg/cm ²)	Hasil Pirolisis (Kg)		
				Minyak	Arang	Residu
<i>Low Density PolyEthylene (LDPE)</i>	400°C/50s	Tanpa katalis	5 psi	90,035	82	16
		1 tingkat katalis	5 psi	107,726	71	12
		2 tingkat katalis	5 psi	133,728	62	9
<i>PolyStyrene (PS)</i>	400°C/50s	Tanpa katalis	5 psi	118122	73	13
		1 tingkat katalis	5 psi	138,409	60	9
		2 tingkat katalis	5 psi	160,662	50	7

Tabel B2. Data hasil pirolisis dalam bentuk (%)

Tipe Plastik	Temperatur (T)/Waktu(t)	Katalisasi	Tekanan (P) (kg/cm ²)	Hasil Pirolisis (%)		
				Minyak	Arang	Residu
<i>Low Density PolyEthylene (LDPE)</i>	400°C/50s	Tanpa katalis	5 psi	30,011	27,333	5,333
		1 tingkat katalis	5 psi	35,908	23,667	4
		2 tingkat katalis	5 psi	44,576	20,667	3
<i>PolyStyrene (PS)</i>	400°C/50s	Tanpa katalis	5 psi	39,374	24,333	4,333
		1 tingkat katalis	5 psi	46,136	20	3
		2 tingkat katalis	5 psi	53,554	16,667	2,333

C. LAMPIRAN PERHITUNGAN

Perhitungan C1. Kebutuhan Bahan Bakar LPG pada Proses Pirolisis :

1 tabung lpg = 6 pemrosesan minyak hasil pirolisis

Tipe Plastik	T/t	Katalisasi	Tekanan (P) (psi)	Volume Minyak (ml)		
				1	2	3
<i>Low Density PolyEthylene (LDPE)</i>	400°C/50s	Tanpa katalis	5	118	116	117
		1 tingkat katalis	5	140	143	140
		2 tingkat katalis	5	173	175	177
<i>Poly Styrene (PS)</i>	400°C/50s	Tanpa katalis	5	135	134	136
		1 tingkat katalis	5	159	156	156
		2 tingkat katalis	5	181	183	182

Perhitungan :

$$\text{LDPE tanpa katalis} = 118+116+117 = 351 \quad \times 0,769 = 269,919$$

$$\text{LDPE 1 tingkat katalis} = 140+143+140 = \underline{423} + \quad \times 0,764 = \underline{323,172} +$$

$$774 \text{ ml} \quad \quad \quad 693,091 \text{ kg}$$

Jadi, 1 tabung menghasilkan 6 pemrosesan dengan banyak minyak 774 ml = 693,091 kg

$$\text{LDPE 2 tingkat katalis} = 173+175+177 = 525 \quad \times 0,764 = 401,1$$

$$\text{PS tanpa katalis} = 135+134+136 = \underline{405} + \quad \times 0,874 = \underline{353,97} +$$

$$930 \text{ ml} \quad \quad \quad 755,07 \text{ kg}$$

Jadi, 1 tabung menghasilkan 6 pemrosesan dengan banyak minyak 930 ml = 755,07 kg

$$\text{PS 1 tingkat katalis} = 159+156+156 = 471 \quad \times 0,881 = 414,951$$

$$\text{PS 2 tingkat katalis} = 181+183+182 = \underline{546} + \quad \times 0,882 = \underline{481,572} +$$

$$1017 \text{ ml} \quad \quad \quad 896,523 \text{ kg}$$

Jadi, 1 tabung menghasilkan 6 pemrosesan dengan banyak minyak 1017 ml = 896,523 kg

Jadi, pada penelitian ini menghabiskan tabung lpg 3 kg sebanyak 3 tabung dengan menghasilkan minyak sebanyak 2.721 ml minyak pirolisis dapat di konversikan menjadi 2.344,684 kg .

