



**PENGARUH PENAHANAN TEMPERATUR DAN KATALIS *ZEOLIT*  
ALAM PADA PROSES PIROLISIS PLASTIK *POLYETHYLENE*  
*TEREPHTHALATE* DAN *POLYPROPYLENE***

**SKRIPSI**

Oleh:

**Yudan Priyo Anggono**

**NIM 151910101047**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS JEMBER**

**2020**



**PENGARUH PENAHANAN TEMPERATUR DAN KATALIS ZEOLIT  
ALAM PADA PROSES PIROLISIS PLASTIK *POLYETHYLENE*  
*TEREPHTHALATE* DAN *POLYPROPYLENE***

**SKRIPSI**

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat  
untuk menyelesaikan program studi teknik mesin (S1)  
dan mencapai gelar sarjan teknik

Oleh:

**Yudan Priyo Anggono**

**NIM 151910101047**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS JEMBER**

**2020**

## PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT, kita memuji-Nya, dan meminta pertolongan, pengampunan dan rahmat yang telah diberikan serta petunjuk kepada-Nya. Shalawat serta salam selalu tercurahkan kepada junjungan dan suritauladan kita Nabi Muhammad SAW. Saya persembahkan skripsi ini sebagai rasa terimakasih kepada:

1. Keluarga saya, Bapak Muhsin Hariyanto, Ibu Sayomi, adik saya Rijal Kurnia Ramadani, yang telah memberikan dukungan, doa, perhatian, kasih sayang, semangat, motivasi dan bimbingan.
2. Keluarga besar Teknik Mesin Universitas Jember khususnya angkatan 2015 (M17) yang telah banyak membantu saya dan memberikan semangat dalam suasana suka maupun duka selama kuliah.
3. Teman-teman KKN 118 Pandak, serta teman-teman jurusan Teknik Mesin Unej yang telah memberikan ilmu dan dukungan.
4. Kelompok penelitian pirolisis yang telah membantu dalam menyelesaikan penelitian ini.
5. Almamater tercinta Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember.

Dan seluruh pihak yang telah mendukung serta memotivasi saya, yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu .

**MOTO**

Karunia Allah yang paling lengkap adalah kehidupan yang didasarkan pada ilmu  
pengetahuan

(Ali Bin Abi Thalib)

Barang siapa menjadikan mudah urusan orang lain, Pasti Allah akan memudahkan  
urusannya di dunia dan akhirat.

(HR. Muslim)

Hiduplah kamu seperti akan mati besok dan berbahagialah seperti kamu akan  
hidup selamanya

(BJ Habibie)

Sesungguhnya hanya orang-orang yang bersabarlah yang di-cukupkan pahala  
mereka tanpa batas.

(Az-Zumar ayat 10)

**PERNYATAAN**

Saya yang bertandatangan dibawah ini:

Nama : Yudan Priyo Anggono

Nim : 151910101047

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “Pengaruh Penahanan Temperatur dan Katalis *Zeolit* Alam Pada Proses Pirolisis Plastik *Polyethylene Terephthalate* dan *Polypropylene*” adalah benar benar hasil karya saya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada intitusi manapun dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar benarnya tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 5 Jember 2020  
Yang menyatakan,

Yudan Priyo Anggono  
NIM:151910101047

**SKRIPSI**

**PENGARUH PENAHANAN TEMPERATUR DAN KATALIS ZEOLIT  
ALAM PADA PROSES PIROLISIS PLASTIK *POLYETHYLENE*  
*TEREPHTHALATE* DAN *POLYPROPYLENA***

Oleh

Yudan Priyo Anggono

NIM 151910101047

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Ir. Nasrul Ilminnafik S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Ir. Gaguk Jatisukamto S.T., M.T.

**PENGESAHAN**

Skripsi ini berjudul “**Pengaruh Penahanan Temperatur Dan Katalis Zeolit Alam Pada Proses Pirolisis Plastik *Polyethylene Terephthalate* dan *Polypropilene***” karya ini telah di uji dan disahkan pada :

Hari tanggal : Selasa, 15 januari 2020

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Pembimbing:

Pembimbing Utama,

Pembimbing Anggota,

Dr. Ir. Nasrul Ilminnafik S.T., M.T.  
NIP. 197111141999031002

Dr. Ir. Gaguk Jatisukamto S.T., M.T.  
NIP. 196902091998021001

Tim Penguji:

Penguji I,

Penguji II,

Ir. Ahmad Adib Rosyadi S.T.,M.T.  
NIP. 198501172012121001

Dr. Ir. R. Koekoeh K.W, ST., M.Eng.  
NIP. 196707081994121001

Mengesahkan  
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember

Dr. Ir. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.  
NIP. 197008261997021001

## RINGKASAN

**Pengaruh penahanan temperatur dan katalis *zeolite* alam pada proses pirolisis plastik *polyethylene terephthalate* dan *polypropylene***; Yudan Priyo Anggono, 151910101047; 2019; Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penggunaan plastik akan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah populasi penduduk dan meningkatnya perkembangan teknologi. Meningkatnya sampah plastik menjadi masalah besar bagi kehidupan dan ekosistem yang ada dikarenakan plastik sulit terurai didalam tanah dan membutuhkan waktu yang lama untuk dapat terurai. Banyak solusi dan upaya yang di gunakan dalam mengurangi jumlah sampah plastik yang meningkat yaitu dengan di daur ulang atau di konversikannya sebagai bahan bakar dikarenakan dilihat dari unsur penyusun plastik berupa hidrokarbon. Metode yang banyak digunakan pada penelitian sebelumnya dengan proses pirolisis yaitu metode alternatif yang berguna untuk mengolah sampah organik maupun anorganik dengan cara pemanasan menggunakan sedikit oksigen atau tanpa menggunakan oksigen di dalamnya. Tujuan dari penelitian ini, untuk mengetahui perbedaan jenis minyak yang dihasilkan dari sampah plastik PET dan PP, untuk mengidentivikasi dari penggunaan katalis luar tabung reaktor dan tanpa penggunaan katalis terhadap volume cairan yang dihasilkan, dan pengaruh waktu pemanasan terhadap jumlah hasil keluaran.

Penelitian ini menggunakan metode pirolisis dengan variasi waktu pemanasan dan penggunaan katalis luar tabung reaktor. Plastik yang digunakan *Polypropylene* dan *Polyethylen Terephthalate* sebanyak 300 gram dengan suhu 380 °C, waktu yang digunakan 30 menit, 40 menit, 50 menit dan penggunaan katalis *zeolit* 500 gram.

Proses pirolisis dengan menggunakan plastik PP serta penggunaan katalis dan tanpa katalis sebanyak 300 gram dengan suhu  $380^{\circ}\text{C}$  memperoleh minyak terbanyak dengan lama pemanasan 50 menit sejumlah 57 ml tanpa katalis dan 23 ml menggunakan katalis. Masa jenis dan viskositas plastik PP tanpa katalis 0,760 gram/ml dan 0,3 dPa.s sedangkan plastik PP katalis 0,769 dan 0,4 dPa.s. Plastik PET terbanyak dengan lama pemanasan 50 menit didapatkan PET tanpa katalis sebanyak 68 ml dan menggunakan katalis sebanyak 23 ml, untuk masa jenis dan viskositas plastik PET tanpa katalis 0,795 gram/ml dan 0,3 dPa.s sedangkan plastik PET katalis masa jenisnya 1,167 gram/ml untuk viskositas plastik PET tidak dilakukan pengujian dikarenakan plastik mudah memadat dengan diketahui titik lelehnya  $52,6^{\circ}\text{C}$ .

Hasil dari penelitian ini didapatkan minyak PP dan PET yang dihasilkan dipengaruhi oleh waktu pemanasan dan penggunaan katalis. Semakin lama waktu pemanasan maka minyak yang dihasilkan dari proses pirolisis akan semakin banyak. Pada penelitian ini penggunaan katalis juga berpengaruh dengan hasil minyak yang diperoleh, pada pirolisis tanpa katalis hasil yang diperoleh lebih banyak dari proses pirolisis menggunakan katalis, penggunaan katalis dapat menurunkan fraksi minyak.

## SUMMARY

**Effect of temperature containment and natural zeolite catalyst on the pyrolysis process of polyethylene terephthalate and polypropylene plastic;**  
Yudan Priyo Anggono, 151910101047; 2019; Mechanical Engineering Faculty of Engineering, University of Jember.

The use of plastics will increase along with the increasing population and increasing technological development. The increase in plastic waste is a big problem for life and existing ecosystems because plastic is difficult to decompose in the soil and requires a long time to be decomposed. Many solutions and efforts are used to reduce the amount of plastic waste that is increasing, that is by recycling or converting it as fuel because it is seen from the constituent elements of plastic in the form of hydrocarbons. The method that is widely used in previous studies with the pyrolysis process is an alternative method that is useful for treating organic and inorganic waste by heating using little oxygen or without using oxygen in it. The purpose of this study is to investigate the different types of oil produced from PET and PP plastic waste, to identify the use of catalysts outside the reactor tube and without the use of catalysts on the volume of liquid produced, and the effect of heating time on the amount of output.

This research uses pyrolysis method with variation of heating time and the use of catalyst outside the reactor tube. The plastic used is 300 grams of Polypropylene and Polyethylene Terephthalate with a temperature of 380° C, the time used is 30 minutes, 40 minutes, 50 minutes and the use of a 500 gram zeolite catalyst.

The process of pyrolysis using PP plastic and the use of catalysts and without catalysts as much as 300 grams with a temperature of 380 ° C obtained the most oil with 50 minutes heating time of 57 ml without catalysts and 23 ml using catalysts. Species density and viscosity of PP plastic without catalysts are 0.760 gram / ml and 0.3 dPa.s while PP plastic catalysts are 0.769 and 0.4 dPa.s. Most

PET plastic with 50 minutes heating time obtained 68 ml of catalyst without PET and using catalyst as much as 23 ml, for the type and viscosity of PET plastic without catalyst 0.795 gram / ml and 0.3 dPa.s while PET plastic catalyst of 1.167 gram / ml for PET plastic viscosity was not tested because the plastic is easy to solidify with a known melting point of 52.6° C.

The results of this study found that PP and PET oil produced are influenced by the heating time and the use of catalysts. The longer the heating time, the more oil will be produced from the pyrolysis process. In this study the use of catalysts also affects the results of oil obtained, the pyrolysis without catalyst results obtained more from the pyrolysis process using a catalyst, the use of catalysts can reduce the oil fraction.

## PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT, atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Penahanan Temperatur dan Katalis Zeolit Alam Pada Proses Pirolisis Plastik *Polyethylene Terephthalate* dan *Polypropylene*”, Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu, penulis menyampaikan terimakasih kepada:

1. Dr. Ir. Nasrul Ilminnafik S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama, Dr. Ir. Gaguk Jatisukanto S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota, yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
2. Dr. Ir. Agus Triono S.T., M.T. selaku Dosen pembimbing akademik yang telah membimbing selama penulis menjadi mahasiswa
3. Bapak/ibu dan keluarga yang telah memberikan dorongan dan doanya demi terselesaikannya skripsi ini.
4. Semua pihak yang tidak dapat di sebutkan satu persatu.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat

Jember, 5 Januari 2020

Penulis

**DAFTAR ISI**

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN MOTO .....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN.....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PEMBIMBING .....</b>	<b>v</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>	<b>vi</b>
<b>R INKASAN .....</b>	<b>vii</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>ix</b>
<b>PRAKATA .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xvi</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Latar Belakang .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Rumusan Masalah.....</b>	<b>3</b>
<b>2.3 Tujuan Penelitian .....</b>	<b>3</b>
<b>2.4 Manfaat Penelitian .....</b>	<b>4</b>
<b>1.5 Batasan Masalah .....</b>	<b>4</b>
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 Sampah.....</b>	<b>5</b>
2.1.1 Jenis Sampah .....	5
2.1.2 Karakteristik Sampah .....	7
2.1.3 Sampah Plastik .....	8
2.1.4 Jenis Jenis Plastik .....	9
2.1.5 Sifat Termal Plastik .....	12
2.1.6 Daur Ulang Plastik .....	13

<b>2.2 Proses Pirolisis</b> .....	<b>14</b>
2.2.1 Tahapan Proses Pirolisis .....	15
2.2.2 Faktor yang Mempengaruhi Proses Pirolisis.....	16
<b>2.3 Katalis</b> .....	<b>26</b>
<b>2.4 Pengujian Karakteristik Minyak Bahan Bakar Cair</b> .....	<b>31</b>
<b>2.5 Hipotesis</b> .....	<b>35</b>
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>36</b>
<b>3.1 Alat dan Bahan</b> .....	<b>36</b>
3.1.1 Alat.....	36
3.1.2 Bahan .....	36
<b>3.2 Skema Alat</b> .....	<b>36</b>
<b>3.3 Waktu dan Tempat Penelitian</b> .....	<b>38</b>
<b>3.4 Metode Penelitian</b> .....	<b>38</b>
3.4.1 Studi Literatur .....	38
3.4.2 Konsultasi .....	39
3.4.3 Eksperimen.....	39
3.4.4 Analitik.....	39
<b>3.5 Variabel</b> .....	<b>39</b>
3.5.1 Variabel Bebas .....	39
3.5.2 Variabel Terikat.....	40
3.5.3 Variabel Kontrol.....	40
<b>3.6 Prosedur Penelitian</b> .....	<b>40</b>
<b>3.7 Pengambilan Data</b> .....	<b>41</b>
<b>3.8 Diagram Alir Penelitian</b> .....	<b>42</b>
<b>BAB 4 PEMBAHASAN</b> .....	<b>43</b>
<b>4.1 Data Hasil Penelitian Proses Pirolisis</b> .....	<b>43</b>
4.1.1 Perbandingan Proses Pirolisis Plastik PP dan PET .....	44
4.1.2 Perbandingan Plastik PP dan PET Menggunakan Katalis.....	45

4.1.3 Perbandingan Hasil Pirolisis Dengan Katalis dan Non Katalis.....	48
4.1.4 Pengaruh Lama Penahanan Temperatur Terhadap Hasil Pirolisis.....	52
<b>4.2 Pengujian Hasil Proses Pirolisis.....</b>	<b>54</b>
4.2.1 Uji Masa Jenis .....	55
4.2.2 Uji Viskositas .....	55
4.2.3 Uji <i>Flash Point</i> .....	56
4.2.4 Uji Angka Oktan .....	56
<b>BAB 5 PENUTUP.....</b>	<b>57</b>
5.1 Kesimpulan .....	57
5.1 Saran.....	57
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>59</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>62</b>

**DAFTAR TABEL**

	Halaman
2.1 Jenis Plastik Dan Nomor Kode Penggunaany.....	10
2.2 Data Termal Proses Daur Ulang Plastik .....	13
2.3 Nilai Kalor Plastik Dan Bahan Lainnya.....	14
2.4 Pengamatan Umum Pada Penelitian .....	20
2.5 Yield Cairan Pirolisis Dengan Variasi Berat Katalis Silika Alumina...	28
2.6 Spesifikasi Alat Pengujian <i>Flash Point</i> .....	34
2.7 Minyak Bahan Bakar.....	35
3.1 Pengambilan Data .....	41
4.1 Minyak Bahan Bakar .....	55
4.2 Minyak Plastik PP dan PET .....	55

**DAFTAR GAMBAR**

	Halaman
2.1 Nomor Kode Plastik.....	10
2.2 Skema Pirolisis Plastik HDPE .....	18
2.3 Skema Pirolisis Plastik PET.....	18
2.4 Skema Pirolisis Plastik PS .....	19
2.5 Pengaruh Katalis Terhadap Reaksi .....	20
2.6 Perolehan Minyak Sebelum Dipisahkan .....	21
2.7 Perolehan Minyak Setelah Dipisahkan .....	22
2.8 Densitas Minyak Lapisan Atas.....	22
2.9 Densitas Minyak Lapisan Bawah.....	23
2.10 Viskositas Minyak Lapisan Atas.....	24
2.11 Viskositas Minyak Lapisan Bawah.....	24
2.12 Nilai Kalor Minyak Pirolisis .....	25
2.13 Struktur Kimia Zeolite .....	26
2.14 Grafik Hasil Pirolisis <i>Styrofoam</i> dengan Variabel Suhu Pirolisis.....	29
2.15 Grafik Pengaruh Suhu dan Persen Katalis Zeolit <i>Sintetis</i> Terhadap Perolehan <i>Yield</i> Pirolisis .....	30
2.16 Pengujian Viskositas Beberapa Jenis Plastik .....	32
3.1 Skema Alat Pirolisis .....	37
3.2 Diagram Alir .....	42
4.1 Perbandingan Hasil Pirolisis Tanpa Katalis Dengan Waktu Penahanan 30 Menit.....	44
4.2 Perbandingan Hasil Pirolisis Tanpa Katalis Dengan Waktu Penahanan 40 Menit.....	44
4.3 Perbandingan Hasil Pirolisis Tanpa Katalis Dengan Waktu Penahanan 50 Menit.....	45
4.4 Perbandingan Hasil Pirolisis Menggunakan Katalis Dengan Waktu Penahanan 30 Menit.....	46

4.5 Perbandingan Hasil Pirolisis Menggunakan Katalis Dengan Waktu	
Penahanan 40 Menit.....	46
4.6 Perbandingan Hasil Pirolisis Menggunakan Katalis Dengan Waktu	
Penahanan 50 Menit.....	47
4.7 Pengaruh Katalis Pada Plastik PP Dengan Waktu	
Penahanan 30 Menit.....	48
4.8 Pengaruh Katalis Pada Plastik PP Dengan Waktu	
Penahanan 40 Menit.....	49
4.9 Pengaruh Katalis Pada Plastik PP Dengan Waktu	
Penahanan 50 Menit.....	49
4.10 Pengaruh Katalis Pada Plastik PET Dengan Waktu	
Penahanan 30 Menit.....	50
4.11 Pengaruh Katalis Pada Plastik PET Dengan Waktu	
Penahanan 40 Menit.....	51
4.12 Pengaruh Katalis Pada Plastik PET Dengan Waktu	
Penahanan 50 Menit.....	51
4.13 Hasil Perolehan Minyak Pada Pirolisis.....	52
4.14 Hasil Perolehan Arang Pada Pirolisis.....	53
4.15 Hasil Perolehan Gas Pada Pirolisis.....	53

## BAB 1 PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Plastik sangat dibutuhkan dalam aktivitas kehidupan manusia. Ketergantungan terhadap plastik dalam kehidupan sehari-hari, baik dalam rumah tangga maupun dalam industri dapat menimbulkan permasalahan yaitu bertambahnya jumlah sampah plastik yang dihasilkan. Sampah plastik berbeda dengan sampah organik yang dapat terurai oleh bakteri. Sampah plastik akan berdampak negatif terhadap lingkungan karena tidak dapat terurai dengan cepat dan untuk menguraikan sampah plastik di alam dapat dibutuhkan waktu yang lama (Maryudi dan Setyawan, 2014). Meningkatnya jumlah sampah plastik maka semakin besar pula timbunan sampah plastik yang dihasilkan, maka perlu suatu inovasi yang dapat mengurangi bertambahnya timbunan sampah plastik terutama pada sampah rumah tangga dan sampah industri. Salah satu teknologi yang tepat untuk mengurangi jumlah timbunan sampah plastik dan juga dapat menghasilkan produk yang berguna dan bermanfaat adalah dengan metode pirolisis.

Metode pirolisis merupakan metode alternatif yang dapat digunakan untuk mengolah sampah organik maupun anorganik dengan cara pemanasan menggunakan sedikit oksigen atau tanpa oksigen di dalamnya. Proses pirolisis umumnya berlangsung pada temperatur 500-800° C (Aguado dkk., 2007). Pada suhu tersebut plastik akan meleleh dan berubah menjadi gas, sehingga rantai panjang hidrokarbon akan terpotong menjadi rantai pendek, selanjutnya gas dilakukan pendinginan dan mengalami kondensasi sehingga membentuk cairan pirolisis (Syamsiro, 2015). Pengolahan sampah dengan metode pirolisis pada penelitian sebelumnya oleh Rachmawati dan Herumurti (2015) dengan bahan plastik PET dengan masa 500 gram diperoleh karbon dengan jumlah 84,9% serta menghasilkan gas 45,40% dan *wax* 36,42% dan residu 18,18%. Bahan plastik PET hasil keluarannya didominasi berupa gas karena sifat dasar plastik PET yang mudah menguap. Bahan polimer plastik yang dapat diolah dengan metode pirolisis yaitu: PET (*polyethylene terephthalate*), HDPE (*high density*

*polyethylene*), PVC (*polyvinyl chloride*), LDPE (*low Density polyethylene*), PP (*polypropylene*), PS (*polystyrene*). Bahan-bahan plastik tersebut adalah bahan yang sering ditemui di kehidupan sehari-hari dan dapat dijadikan minyak pirolisis dengan proses pirolisis. Untuk mendapatkan kandungan minyak yang baik, pada proses pirolisis perlu dilakukan penambahan katalis.

Penambahan katalis bertujuan untuk menurunkan waktu reaksi dan juga dapat memperbaiki kualitas dan kuantitas produk keluarannya. Menurut Widjajanti (2005) Katalis akan mengalami penggabungan tapi tidak mempengaruhi pada hasil akhir reaksi akan tetapi dapat memberikan energi pengaktifan yang lebih rendah sehingga dengan adanya katalis akan meningkatkan laju reaksi. Ada banyak jenis katalis yang dapat digunakan sebagai katalisator salah satunya katalis *zeolit*. *Zeolit* adalah senyawa kimia alumino-silikat dengan kandungan natrium, kalium, barium dan bersifat mudah menyerap air dan melepas air. Katalis *zeolit* dibagai menjadi dua yaitu katalis alami (*zeolit alam*) dan katalis buatan (*zeolit sintetis*), untuk katalis alam (*zeolit alam*) yaitu katalis yang terbuat secara alami dari alam seperti batu *zeolit*, batu kapur. Sedangkan katalis buatan (*zeolit sintetis*) dibuat dengan bahan lain atau dengan proses sintesis karena secara umum katalis ini mampu menyerap, menukar ion dan menjadi katalisator yang dapat memperbaiki hasil produknya. Pada penelitian sebelumnya dengan menggunakan katalis sebagai katalisator yang dilakukan oleh Aguado dkk (2000) meneliti tentang pengaruh *zeolit* beta pada campuran plastik PP, LDPE, dan HDPE dengan menggunakan suhu 400°C pada reaktor *batch*. Hasilnya menunjukkan 70% berat cairan, sedangkan hasil gasoline menunjukkan 64% berupa gas. Rahman dkk. (2017) dengan menggunakan plastik PP dan memakai katalis *zeolit* sintetis pada suhu 400 °C dan menghasilkan keluaran sebesar 75,60% cairan. Syahputra dkk., (2015) menggunakan katalis pecahan genting dan plastik *polypropilena* serta suhu yang digunakan 450 °C dengan minyak hasil pirolisis mempunyai densitas 754,64 kg/m<sup>3</sup> dan viskositas 0,723 cp, dikarenakan pecahan genting mempunyai struktur kristalinitas. Salamah dan Maryudi (2018) menggunakan katalis silika alumina pada komposisi 20% dan berat 26 gram

menggunakan plastik *styrofoam*, dengan suhu 500° C dan hasil keluaran 95.65% cairan.

Pada penelitian kali ini menggunakan tabung reaktor dan tabung katalis, dengan peletakan tabung katalis di luar tabung reaktor. Peletakan tabung katalis luar ini bertujuan untuk menghindari kontak langsung antara katalis terhadap bahan plastik pirolisis yang membuat katalis aktif lebih cepat karena adanya pengotor di dalam sampah plastik (Aguado dkk., 2007). Selain itu pemisahan tabung katalis bertujuan untuk memperbaiki kualitas minyak pirolisis dikarenakan uap hasil pembakaran bereaksi dengan katalis yang berada di luar tabung reaktor. Penggunaan katalis luar juga dapat digunakan untuk menyaring dan memecah rantai *wax* di dalam kandungan minyak plastik yang mengganggu karena dapat membeku pada suhu yang rendah (Syamsiro, 2015).

### **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Berapa jumlah volume minyak pirolisis yang dapat dihasilkan dari bahan sampah plastik PET dan PP?
2. Bagaimana perbedaan minyak pirolisis menggunakan katalis dan tidak menggunakan katalis?
3. Bagaimana pengaruh waktu pemanasan menggunakan katalis luar dan tidak menggunakan katalis terhadap jumlah minyak yang dihasilkan?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian pirolisis ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui perbedaan minyak yang dihasilkan dari plastik PET dan PP terhadap masa jenis minyak pirolisis.
2. Untuk membandingkan hasil minyak dari pengaruhn waktu penahanan terhadap volume minyak yang dihasilkan.
3. Dapat mengetahui pengaruh penggunaan katalis terhadap viskositas minyak yang dihasil.

#### **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan karakter minyak yang dihasilkan dari pirolisis bahan plastik
2. Dapat memberikan informasi mengenai pengaruh waktu penahanan reaktor dan jenis katalis luar tabung reaktor terhadap banyaknya minyak yang dihasilkan.
3. Sebagai sarana informasi untuk mengembangkan penelitian berikutnya tentang pirolisis menggunakan katalis luar darai bahan plastik PET dan PP sebagai bahan bakar minyak alternatif.

#### **1.5 Batasan Masalah**

Pada penelitian ini dilakukan batasan masalah sebagai berikut:

1. Tidak menghitung perpindahan panas secara konveksi, konduksi, dan radiasi
2. Kondensasi terjadi secara konstan
3. Jumlah energi yang dibutuhkan pada proses pirolisis tidak di bahas
4. Tidak ada kebocoran pada tabung reaktor, tabung katalis, pipa.
5. Tekanan udara sebelum pembakaran pada reaktor sama dengan tekanan udara atmosfer

## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Sampah

Sampah dapat didefinisikan sebagai semua buangan yang dihasilkan dari aktivitas manusia dan hewan berupa padatan yang dibuang karena sudah tidak dibutuhkan atau diperlukan (Tchobanoglous dkk., 1993). Jadi sampah semakin bertambah tidak hanya disebabkan jumlah manusia yang semakin bertambah tetapi dapat dipengaruhi oleh sifat individu manusia akan kebutuhan hidupnya. Saat ini sampah dapat menjadi permasalahan yang sangat rumit dikarenakan sulitnya diuraikan terutama sampah plastik sehingga dapat menimbulkan dampak yang berakibat bagi lingkungan sekitar. Sebenarnya sebagian besar sampah dihasilkan oleh aktivitas manusia yang sudah tidak digunakan. Tempat-tempat strategis penghasil sampah yang dikarenakan aktivitas manusia antara lain:

1. Tempat umum: stasiun, pasar, bandara, rumah sakit,
2. Tempat tidak umum: rumah tangga

Sampah yang semakin menumpuk di tempat pembuangan sebenarnya harus ada pengolahan yang dapat mengurangi jumlah volume sampah yang menumpuk dan juga harus dikelompokkan berdasarkan jenis sampah yang ada, sehingga sampah tersebut mudah untuk dilakukan pengolahan lebih lanjut dan dapat mengurangi pencemaran yang diakibatkan oleh sampah.

#### 2.1.1 Jenis Sampah

Menurut Sucipto (2012) jenis sampah dibagi atas 3 bagian yaitu sampah organik, anorganik, dan B3 (bahan berbahaya dan beracun)

##### a. Sampah Organik

Sampah organik merupakan sampah yang berasal dari makhluk hidup, baik manusia, hewan, maupun tumbuhan. Sampah organik pada dasarnya dibagi menjadi dua bagian yaitu sampah organik dengan sifat kering dan sampah organik dengan sifat basah. Untuk sampah organik dengan sifat kering adalah sampah organik yang terdapat kandungan air yang kecil sehingga sampah tersebut bersifat

kering. Sedangkan sampah organik dengan sifat basah adalah sampah organik yang kandungan airnya cukup tinggi.

Contoh sampah organik dengan sifat kering yaitu:

1. Daun kering
2. Kayu
3. Kertas
4. Ranting pohon

Contoh sampah organik dengan sifat basah yaitu:

1. Kulit buah
2. Sisa sayuran
3. Pelepah pisang

b. Sampah Anorganik

Sampah anorganik adalah sampah yang bukan berasal dari makhluk hidup. Sampah ini bisa dari sampah yang dapat diperbarui ataupun sampah yang sulit diuraikan sehingga butuh waktu yang lama untuk dapat menguraikan. Jenis sampah anorganik sendiri yaitu:

1. Kaus kaki katun
2. Kaus kaki wol
3. Puntng rokok
4. Kotak minuman
5. Kain nilon
6. Permen karet
7. Kaleng alumunium

c. Sampah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun)

Sampah B3 adalah sampah yang dapat membahayakan kesehatan manusia, makhluk hidup lain, dan lingkungan hidup pada umumnya. Sampah ini umumnya mengandung merkuri yang dapat mengganggu lingkungan disekitar tempat buangan sampah, selain itu sampah B3 yang sifatnya beracun dan juga sulit didaur ulang serta limbah dari sampah B3 harus memerlukan penanganan yang khusus. Contoh sampah yang dikategorikan termasuk kedalam B3 yang

mempunyai sifat mudah meledak, mudah terbakar, bersifat reaktif, beracun, dan korosif yaitu:

1. Peralatan dokter
2. Parfum
3. Pengkilat kayu
4. Pembersih lantai

### 2.1.2 Karakteristik Sampah

Sampah mempunyai karakteristik yang berbeda beda tergantung unsur penyusunnya dikarenakan sifat sampah yang berbeda beda dilihat dari faktor komposisi sampah, kepadatan sampah, dan kadar air sampah yaitu sebagai berikut:

#### a. Komposisi Sampah

Komposisi sampah adalah bahan-bahan dasar pembentuk sampah dengan komposisi fisik maupun komposisi kimia, ada dua macam komposisi sampah yaitu sebagai berikut:

##### 1. Komposisi Fisik

Komposisi fisik sampah mencakup besarnya prosentase dari komponen pembentuk sampah yang terdiri dari beberapa komponen pembentuknya yaitu: organik, kertas, kayu, logam, kaca, plastik dan lain lain. Dari itu semua dapat diketahui bahwa komposisi sampah dapat dilihat dari komponen pembentuknya dan beberapa sampah ada yang komposisinya bercampur dikarenakan untuk menambah kualitas barang sebelum jadi sampah.

##### 2. Komposisi Kimia

Komposisi kimia sampah terdiri dari unsur karbon, Hidrogen, Oksigen, Nitrogen, Sulfur, Fosfor, serta unsur lain yang terdapat dalam protein, karbohidrat dan lemak. Komposisi kimia sampah sangat erat kaitannya dengan pemilihan alternatif pengolahan dan juga pemanfaatan tanah sehingga kandungan sampah dapat dengan mudah diuraikan kedalam tanah.

#### b. Kepadatan Sampah

kepadatan sampah sebenarnya sangat berpengaruh terhadap banyaknya sampah dan volume sampah. Kepadatan sampah menentukan ketebalan lapisan sampah yang akan dibuang dari sistem, jadi semakin rapat dan banyak sampah yang terkumpul maka kepadatan sampah akan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya volume sampah

#### c. Kadar Air Sampah

Kadar air sampah merupakan perbandingan antar berat air dengan berat sampah total atau berat kering sampah tersebut. Kadar air sampah sangat berpengaruh besar dengan sifat sampah dikarenakan air dapat mempengaruhi laju pembusukan pada sampah khususnya sampah organik. Berbeda dengan sampah anorganik pengaruh air juga berpengaruh tetapi kurang maksimal dikarenakan sifat sampah anorganik lebih sulit diuraikan dengan sampah organik. Sehingga faktor adanya air menjadi penentu cepat lambatnya pembusukan pada sampah.

#### 2.1.3 Sampah Plastik.

Plastik adalah salah satu jenis dari makromolekul yang dibentuk dengan proses polimerisasi. Polimerisasi yaitu proses penggabungan dari beberapa molekul yang sederhana dengan melalui suatu proses kimia menjadi molekul besar. Plastik adalah sebuah senyawa polimer dengan unsur penyusunnya sebuah Karbon dan Hidrogen. Untuk membuat plastik, salah satu bahan yang sebagian besar sering digunakan adalah Naphta, yaitu bahan yang diperoleh dari suatu proses penyulingan minyak bumi dan gas alam. Sebagai gambaran untuk pembuatan plastik dengan bobot 1 kg plastik adalah dengan memerlukan 1,75 kg minyak bumi, untuk memenuhi kebutuhan bahan bakunya maupun untuk memenuhi kebutuhan proses pembuatannya (Kumar dkk., 2011)

Plastik adalah bahan baku yang sangat mudah digunakan, sifatnya yang ringan, elastis, kuat, transparan, fleksibel dan tahan terhadap air adalah faktor kelebihan dan keuntungan menggunakan plastik di dalam kehidupan sehari-hari. Plastik sangat dibutuhkan dalam kehidupan seperti pengemas makanan, membungkus benda, bodi sepeda, peralatan dapur, barang-barang rumah, prabot

rumah tangga dan bahkan plastik juga di gunakan sebagai tali. Tetapi plastik berkebalikan dengan sifatnya yang bermanfaat dalam kehidupan, plastik jika menjadi sampah dan tidak ditangani dengan tepat justru benda yang sangat berpengaruh buruk pada lingkungan, sifat plastik yang sulit diuraikan di alam plastik membutuhkan waktu yang tidak sebentar untuk dapat terurai dengan sendirinya. Sehingga plastik dapat memberikan dampak buruk bagi lingkungan dikarenakan dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan.

#### 2.1.4 Jenis Jenis Plastik

Pada dasarnya plastik adalah sampah yang bersifat dapat didaur ulang tetapi ada juga plastik yang tidak dapat didaur ulang. Menurut Syarief (1991) ada dua jenis plastik yaitu *termoplastik* dan *termoseting*.

##### a. *Termoplastik*

*Termoplastik* adalah plastik yang bersifat dapat didaur ulang, plastik yang jika dipanaskan sampai suhu tertentu akan mencair dan dapat dibentuk kembali. Sehingga plastik jenis *termoplastik* ini sangat banyak digunakan dalam kebutuhan sehari hari dan juga dibutuhkan dalam skala besar.

##### b. *Termoseting*

*Termoseting* adalah plastik yang ketika sudah dibentuk atau dilunakkan maka jika di panaskan kembali tidak dapat dibentuk ulang dikarenakan yang sifatnya hanya sekali proses pelunakan, sehingga penggunaan plastik jenis *termoseting* ini lebih sedikit dibandingkan dengan jenis plastik *termoplastik* contoh plastik *termoseting* yaitu: PU (*poly urethane*), UF (*urea formaldehyde*), *polyester*, *epoksi* dan lain-lain. Dari dua jenis plastik diatas ada plastik yang dapat didaur ulang kembali dan ada plastik yang tidak dapat didaur ulang. Untuk jenis *termoplastik* terdapat kode, kode tersebut berguna untuk mempermudah pengelompokan jenis plastik yang sama dan juga lebih mudah untuk didaur ulang kembali. Untuk pengelompokan plastik dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Jenis Plastik dan Nomor Kode Penggunaannya.

No Kode	Jenis plastik	Penggunaan
1	PET ( <i>Polyethylene Terephthlate</i> )	Botol kemasan air mineral, botol minyak goreng, botol jus, botol sambal, botol obat, dan botol kosmetik
2	HDPE ( <i>High density Polyethylene</i> )	Botol obat, botol susu cair, jirigen pelumas, botol kosmetik
3	PVC ( <i>Polyvinyl Chelorida</i> )	Pipa selang air, pipa bangunan, mainan plastik, taplak meja plastik, botol sampo, botol sambal
4	LDPE ( <i>Low density Polyethylene</i> )	Kantong kresek, tutup plastik, plastik pembungkus daging beku, tutup galon, dan berbagai macam plastik tipis lainnya
5	PP ( <i>Polypropilene Polypropene</i> )	Cup plastik, tutup botol, mainan anak, gelas air.
6	PS ( <i>polystyrene</i> )	Kotak cd, sendok dan garpu plastik, gelas plastik, tempat makan styrofoam, dan tempat makan plastik transparan
7	<i>Other (O)</i> , jenis Plastik lain selain dari no 1 sampai 6	botol susu bayi, plastik kemasan, galon air, suku cadang mobil, alat rumah tangga, komputer, alat-alat elektronik, sikat gigi, dan mainan lego.

Sumber: UNEP, 2009



Gamar 2.1 Nomor kode plastik (sumber: UNEP, 2009)

Macam macam jenis plastik termoplastik dan nomor kode di jelaskan dibawah ini sebagai berikut:

a. PET (*Polyethylene Terephthlate*)

Plastik PET (*Polyethylene Terephthlate*) ini adalah plastik yang bersifat tahan lama kuat dan mudah dibentuk pada saat kondisi panas. Plastik dengan kode panah segi tiga dan nomor 1 di tengah, plastik PET ini adalah plastik yang disarankan dengan satu kali pakai bila digunakan. Plastik ini dapat ditemukan sehari hari pada beberapa wadah makanan, minuman, dan juga botol air mineral.

b. HDPE (*High Density Polyethylene*)

Plastik jenis ini yaitu HDPE (*High Density Polyethylene*) adalah plastik yang memiliki sedikit cabang pada rantai antara molekulnya yang menyebabkan plastik ini memiliki densitas yang rendah, dibanding dengan plastik jenis *low density*. Dengan demikian plastik *high density* adalah plastik yang mempunyai sifat bahan yang lebih kuat, keras buram dan lebih tahan terhadap suhu yang tinggi.

c. PVC (*Polyvinyl Chloride*)

PVC merupakan plastik yang paling sulit didaur ulang, plastik ini merupakan plastik dengan nomor kode tiga, sifat dari pvc sendiri adalah transparan sampai dengan warna keruh, plastik ini dapat tahan terhadap minyak dan lemak serta tidak mudah sobek plastik pvc dapat ditemukan pada pipa air, pipa bangunan, dan dapat juga digunakan sebagai nampan atau wadah makanan. Plastik ini diberi nomor kode dengan angka 3.

d. LDPE (*Low Density Polyethylene*)

Plastik LDPE (*Low Density Polyethylene*) adalah plastik dengan sifat yang kuat, agak tembus cahaya, fleksibel, dan pada permukaanya mengandung lemak. Pada suhu 60° C keadaanya sangat resisten terhadap senyawa kimia, daya kekebalan terhadap uap air tergolong dalam kadar baik, akan tetapi plastik LDPE ini kurang baik terhadap gas yang lain seperti contoh gas oksigen. Plastik ini diberi nomor kode dengan angka 4.

e. PP (*Polypropilene Polypropene*)

PP (*Polypropilene Polypropene*) adalah plastik yang mempunyai sifat tahan panas, tahan minyak, dan tahan lemak. Plastik ini dicirikan dengan warna jernih atau transparan plastik ini juga tahan terhadap kadar asam yang sangat kuat biasanya plastik ini sering digunakan sebagai tempat makanan. Untuk kode nomor dari plastik ini ditetapkan dengan angka 5 plastik ini dapat ditemui pada wadah makanan plastik, gelas plastik, taperwre.

f. PS (*polystyrene*)

Plastik PS (*Polystyrene*) pada plastik jenis ini mempunyai sifat fisik yaitu ringan dan mudah dibentuk, mudah rusak. Jenis plastik ini diberi kode angka 6 dan plastik ini dapat dikenal dengan mudah biasanya plastik ini dapat dijumpai pada kotak makan dan lain lain.

g. *Other* (O)

Jenis plastik ini diberi kode nomor 7 dan tulisan *other*. Yang termasuk plastik other adalah plastik selain dari yang disebutkan di atas misalnya alat elektronik, sikat gigi dan mainan lego

Pengolahan sampah dengan metode pirolisis yang memanfaatkan sampah plastik sebagai bahan dari pembuatan minyak pirolisis yang dilakukan oleh

### 2.1.5 Sifat Termal Plastik

Pengetahuan sifat termal dari berbagai jenis plastik sangat penting dan daur ulang plastik. Sifat termal yang penting adalah titik lebur ( $T_m$ ), temperatur transisi ( $T_g$ ) dan temperatur dekomposisi. Temperatur transisi dimana plastik mengalami perubahan kondisi yaitu perenggangan struktur sehingga perubahan kondisi kaku menjadi lebih fleksibel, dikarenakan sifat plastik salah satunya adalah fleksibel. Plastik sangat dibutuhkan dikarenakan sifatnya yang kuat dan fleksibel. Di atas titik lebur, plastik mengalami pembesaran volume sehingga molekul bergerak lebih bebas yang ditandai dengan bertambahnya peningkatan kelenturannya. Temperatur lebur adalah dimana plastik berubah menjadi lunak dan berubah cair dikarenakan suhu panas yang dapat melunakkan plastik. Sedangkan temperatur dekomposisi adalah sebuah proses dimana batasan

pencairan dari plastik. Jika suhu ditingkatkan di atas temperatur lebur maka plastik akan berubah cair dan struktur akan mengalami dekomposisi. Terjadinya dekomposisi termal ini dikarenakan meningkatnya energi termal dan melampaui energi yang mengikat molekul sehingga akan mengalami penambahan volume dan merubah plastik menjadi lebih cair. Polimer akan mengalami dekomposisi pada suhu di atas 1,5 dari temperatur transisinya (Budiyantoro, 2010) Data termal proses daur ulang plastik terdapat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Data Termal Proses Daur Ulang Plastik

Jenis Bahan	Tm (°C)	Tg (°C)	Temperatur keras maks.(°C)
PP	168	5	80
HDPE	134	-110	82
LDPE	330	-115	260
PA	260	50	100
PET	250	70	100
ABS		110	85
PS		90	70
PMMA		100	85
PC		150	246
PVC		90	71

Sumber: Budiyantoro, 2010

#### 2.1.5 Daur Ulang Plastik

Daur ulang sampah plastik adalah proses dimana sampah plastik diolah kembali menjadi barang yang dapat digunakan dan bermanfaat sehingga barang tersebut dapat dimanfaatkan, barang-barang yang tergolong dapat didaur ulang adalah barang-barang bekas yang tidak dapat difungsikan atau tidak digunakan kembali. Daur ulang sampah plastik dapat dibedakan menjadi 4 macam yaitu daur ulang primer, sekunder, tersier, dan quarter. Daur ulang primer adalah daur ulang pada limbah plastik yang kualitasnya hampir setara dengan kualitas aslinya. Daur ulang sekunder adalah daur ulang yang sejenis dengan daur ulang aslinya dengan

kualitas yang berada di bawahnya. Daur ulang tersier adalah daur ulang sampah plastik menjadi bahan kimia atau bahan bakar. Dan yang terakhir adalah daur ulang quarter yaitu adalah proses untuk mendapatkan energi yang terkandung di dalam sampah plastik. (Kumar dkk., 2011) di bawah dapat dilihat perbandingan nilai kalor plastik dan juga bahan lainnya pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Nilai Kalor Plastik Dan Bahan Lainnya

Material	Nilai kalor (MJ/kg)
<i>Polyethylene</i>	46,3
<i>Polypropylene</i>	46,4
<i>Polyvinyl chloride</i>	18,0
<i>Polystyrene</i>	41,4
<i>Coal</i>	24,3
<i>Petrol</i>	44,0
<i>Diesel</i>	43,0
<i>Heavy fuel oil</i>	41,1
<i>Light fuel oil</i>	41,9
LPG	46,1
<i>Kerosene</i>	43,4

Sumber: Das dan Pande, 2007

## 2.2 Proses Pirolisis

Pirolisis adalah proses pemanasan pada bahan-bahan organik maupun anorganik dengan menggunakan sedikit oksigen atau tanpa menggunakan oksigen didalamnya. Proses ini berlangsung pada kisaran suhu 250° C sampai 500° C (Aguado dkk., 2007). Pada proses pirolisis produk yang dihasilkan yaitu sebuah output adalah gas, cair, dan residu berupa padatan (Buckens dan Huang, 1998). Pada suhu pirolisis polimer plastik akan meleleh dan berubah menjadi gas dan kemudian gas tersebut dikondensasikan menjadi cairan. Pada proses pirolisis hasil sebagian besar pengolahannya berupa residu, gas, dan cairan. Untuk cairan hasil

dari pirolisis adalah bahan bakar yang dapat digunakan ataupun dapat juga sebagai campuran dari bahan bakar.

### 2.2.1 Tahapan Proses Pirolisis

Tahapan dari proses pirolisis sampah plastik yang dilakukan untuk mendapatkan cairan pirolisis yang diawali dengan tahap pengeringan, tahap pengeringan lanjut, tahap pirolisis, dan tahap pendinginan yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

#### a. Tahap pemanasan awal (*Predrying*)

Pemanasan awal atau disebut juga tahap awal pemanasan yaitu tahap pengeringan biomasa, dimana pada tahap ini kondisi pemanasan yang terjadi mencapai temperatur kurang dari  $100^{\circ}\text{C}$  dari temperatur kamar menuju temperatur pengeringan. Pada tahap ini bahan biomasa masih terdapat kandungan air yang cukup tinggi

#### b. Tahap pengeringan (*Drying*)

Pada tahap ini terjadi kenaikan temperatur  $100^{\circ}\text{C}$  yang bertujuan untuk menguapkan kandungan air yang terdapat dalam biomasa pada suhu konstan sampai kandungan air menghilang dan menguap. Selanjutnya biomasa setelah melalui tahap pengeringan akan mengalami pengeringan lanjut yaitu pengeringan yang lebih memerlukan suhu panas yang lebih tinggi.

#### c. Tahap pengeringan lanjut (*Postdrying*)

Pada tahap ini biomasa dipanaskan lebih lanjut hingga temperatur menjadi  $200^{\circ}\text{C}$  sebelum terjadi proses torefaksi. Pada tahap ini terjadi penguapan fraksi masa, kandungan air serta senyawa organik telah hilang dari biomasa.

#### d. Tahap Pirolisis

Pada tahap ini proses terjadi yang sebenarnya karena pada tahap ini terjadi proses dipolimerisasi biomasa. Ketika tahap ini berlangsung diperlukan rentang waktu tertentu dengan suatu temperatur reaksi. Pada tahap ini terjadi proses pirolisis pada suhu  $300^{\circ}\text{C}$  sampai  $500^{\circ}\text{C}$ .

#### e. Tahap pendinginan

Produk padatan yang dihasilkan dari proses pirolisis memiliki temperatur yang tinggi sehingga harus didinginkan hingga suhu temperatur ruangan. Hal ini bertujuan untuk menghindari terjadinya proses oksidasi setelah berkontak dengan udara, dan juga proses ini berfungsi untuk mengkondensasikan uap hasil pemanasan dengan harapan uap pada proses kondensasi mengembun dan berubah menjadi cairan pirolisis.

#### 2.2.2 Faktor yang Mempengaruhi Proses Pirolisis

Ada banyak faktor yang dapat mempengaruhi proses pirolisis sehingga proses penguraian pada pirolisis bisa menjadi lambat atau cepat dan juga dapat mempengaruhi hasil dari keluarannya. Faktor yang mempengaruhi antara lain waktu, temperatur, berat partikel, ukuran partikel, jenis plastik lebih jelasnya sebagai berikut:

##### 1. Waktu

Faktor waktu yang dapat mempengaruhi produk akhir yang dihasilkan. Dikarenakan semakin lama waktu yang dibutuhkan proses pirolisis berlangsung maka produk yang dihasilkan semakin naik, produk tersebut diantaranya residu padat, gas dan tar (Ramadhan dan Ali, 2012)

##### 2. Temperatur

Temperatur adalah variabel yang sangat penting dalam menunjang proses pirolisis. Temperatur sangat berpengaruh pada hasil dari proses pirolisis yang didapat, jika proses pirolisis terjadi pada temperatur yang tinggi menyebabkan pemecahan ikatan, sehingga salah satu cara untuk meningkatkan konversi dengan cara menaikkan temperatur, yang didapatkan dengan konversi yang lebih tinggi maka produk utama yang terbentuk akan menjadi produk berupa gas dan akan menghasilkan produk cair yang lebih maksimal (Rahmadan dan Ali, 2012)

### 3. Berat partikel

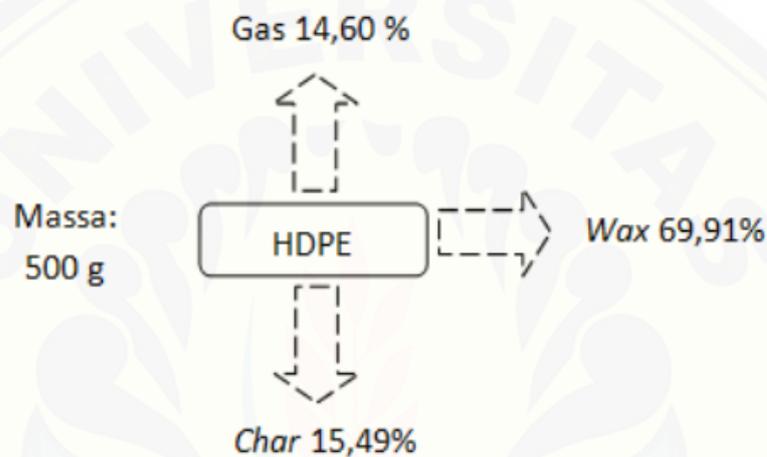
Semakin banyak jumlah partikel yang dimasukkan untuk bahan baku proses pirolisis maka menyebabkan jumlah bahan bakar cair dan jumlah residu akan semakin meningkat dan bertambah (Wahyudi, 2001) pada faktor ini semakin berat partikel bahan proses pirolisis maka jumlahnya semakin banyak dikarenakan beratnya bahan pirolisis.

### 4. Ukuran partikel

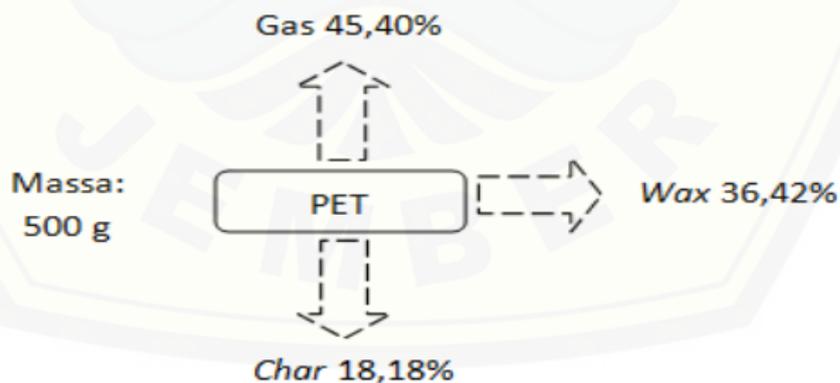
Ukuran partikel sangat berpengaruh terhadap hasil dari proses pirolisis yaitu semakin besar ukuran maka luas permukaan yang terkena panas akan semakin kecil dikarenakan luasan bahan saling tumpang tindih sehingga proses pirolisis akan lambat dan membutuhkan waktu (Wahyudi, 2001)

Pada penelitian sebelumnya tentang pengolahan sampah menggunakan metode pirolisis dengan variasi rasio komposisi sampah dan jenis plastik yang dilakukan oleh Rahmawati dan Herumurti (2015) dalam penelitian ini menggunakan sampah plastik HDPE (*High Density Polyethylene*), PET (*Poly Ethylene Terephthalate*), PS (*Poly Styrene*). Pada penelitian ini ukuran partikel sampah yang akan digunakan sekitar 2-5 mm, dengan kadar air <10%. Berat sampah yang digunakan 500 g. Plastik HDPE memiliki titik leleh 200°C-280°C dan dapat terdekomposisi pada suhu 495°C. Sampel plastik HDPE yang telah dipirolisis menghasilkan *char* yang mengandung *paraffins* dan *1-olefins*. *Paraffins* berwujud seperti lilin yang dapat terbentuk pada temperatur ruangan dan memiliki titik leleh >370°C. Padatan dari hasil HDPE apabila dilakukan pengolahan dapat digunakan sebagai bahan bakar padat alternatif. Penelitian pirolisis menggunakan massa 500 gram menghasilkan gas 14,60%; *wax* 69,91%; dan *char* 15,49%. Literatur menyebutkan pirolisis dengan bahan HDPE yang dilakukan pada suhu 500°C menghasilkan gas 0,9%; *wax* 97,7%; dan *char* 0,8%. Plastik PET memiliki titik leleh pada temperatur 250°C- 260°C dan terdekomposisi pada temperatur 480°C. Penelitian pirolisis yang dilakukan tidak menghasilkan gas yang terkondensasi karena PET memiliki sifat dasar mudah menyublim. Produk *char* hasil pirolisis PET mengandung karbon sekitar 84,9%.

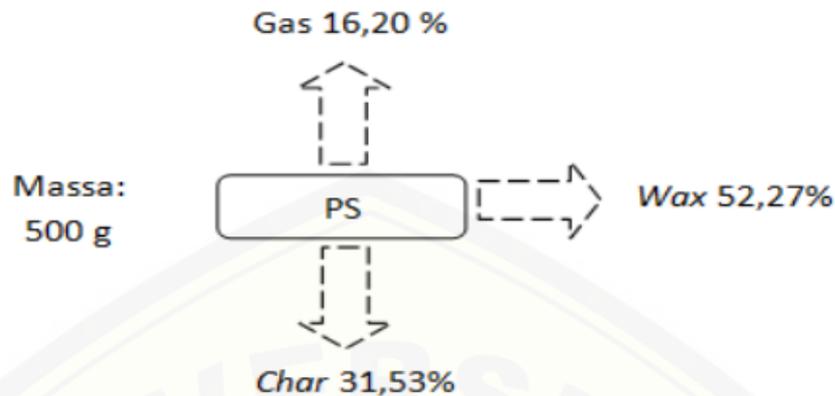
Penelitian ini dengan massa 500 g menghasilkan gas 45,40%; wax 36,42%; dan *char* 18,18%. Pirolisis dengan bahan PET didominasi hasil gas karena sifat dasar kimia PET yang mudah menyublim. PS memiliki titik leleh pada suhu 180°C – 260°C dan terdekomposisi pada temperatur 420°C. Sampel plastik PS pada kandungan bahan bakunya didominasi oleh stirena. Pada penelitian pirolisis ini dengan massa 500 g menghasilkan gas 16,20%; wax 52,27%; dan *char* 31,53%. Pada penelitian ini, PS menghasilkan nilai *wax* yang tinggi sesuai dengan literatur.



Gambar 2.2 Skema Pirolisis Plastik HDPE (Rahmawati dan Herumurti, 2015)



Gambar 2.3 Skema Pirolisis Plastik PET (Rahmawati dan Herumurti, 2015)



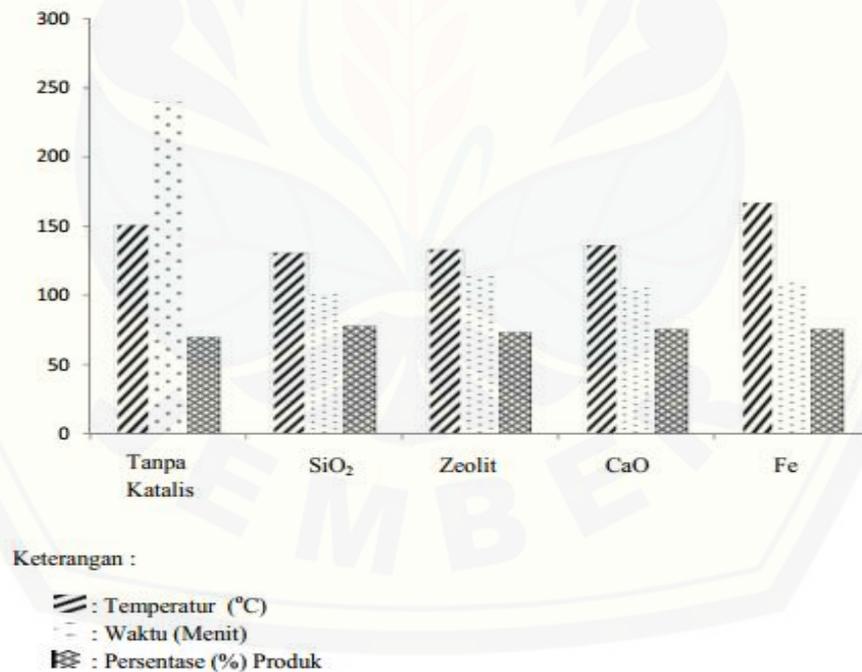
Gambar 2.4 Skema Pirolisis Plastik PS (Rahmawati dan Herumurti, 2015)

Penelitian yang dilakukan oleh Bemis dkk., (2012) dengan judul pengolahan limbah polipropilen menjadi bahan bakar cair melalui metode pirolisis. Penelitian ini dibagi menjadi dua yaitu dengan katalis dan tanpa menggunakan katalis, pada penelitian menggunakan katalis digunakan plastik polipropilen sebanyak 30 gram dan menggunakan katalis sebanyak 3 gram yaitu,  $\text{SiO}_2$ , zeolit,  $\text{CaO}$ , dan  $\text{Fe}$  untuk dilakukan perbandingan dari pengaruh penggunaan katalis terhadap temperatur reaksi, waktu reaksi, dan persen produk yang dihasilkan dalam proses pengolahan polipropilen menjadi bahan bakar cair. Sedangkan penelitian menggunakan katalis Sebanyak 30 g polipropilen dipanaskan dalam labu distilasi dengan menggunakan bunsen hingga meleleh kemudian didiamkan semalam. Selanjutnya plastik hasil lelehan didestilasi dengan menggunakan peralatan destilasi dan pemanas bunsen. Uap hasil distilasi didinginkan melalui kondensor dan ditampung. Volume hasil akhir yang diperoleh kemudian diukur untuk mengetahui persentase produk yang didapatkan.

Tabel 2.4 Pengamatan Umum Pada Penelitian

Parameter	katalis yang digunakan				
	Tanpa katalis	SiO <sub>2</sub>	zeolit	CaO	Fe
Temperatur tetesan pertama (°C)	150	130	133	135	166
Temperatur tetesan terakhir (°C)	160	160	195	180	166
Total waktu reaksi (menit)	240	100	113	105	110
Volume produk yang diperoleh(ml)	30	33	31	32	32
Masa jenis produk (g/ml)	0,7206	0,7236	0,7235	0,72	0,7203
Persentase produk (%)	72,06	79,57	74,76	76,80	76,83

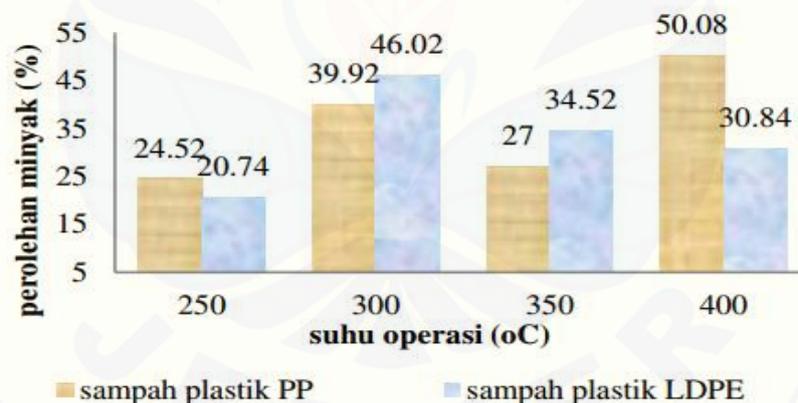
Sumber: Bemis dkk., 2012



Gambar 2.5 Pengaruh katalis terhadap reaksi (Sumber: Bemis dkk., 2012)

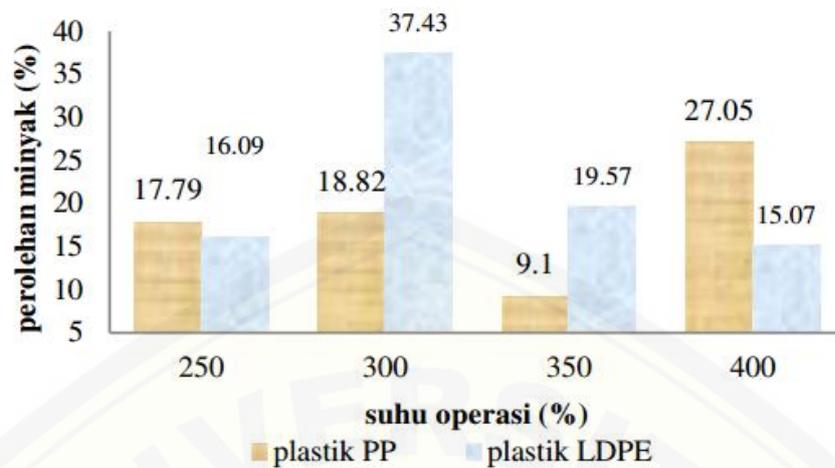
Pirolisis polipropilen dengan katalis dan tanpa katalis telah dilakukan untuk mengolah polipropilen menjadi bahan bakar cair. Katalis mampu menurunkan

temperatur reaksi pirolisis polipropilen serta meningkankan persentase (%) produk. Bahan bakar cair yang diperoleh dari pirolisis polipropilen tanpa katalis sebanyak 72,06%, dengan menggunakan katalis SiO<sub>2</sub> sebanyak 79,59%, dengan menggunakan katalis zeolit sebanyak 74,76%, dengan menggunakan katalis CaO sebanyak 76,80%, dan dengan menggunakan katalis Fe sebanyak 76,83%. Endang dkk., (2016) melakukan penelitian pirolisis dengan bahan plastik LDPE dan PP. Pada bagian dasar reaktor pirolisis dimasukan pasir silika setinggi 5 cm, dan katalis zeolit dimasukan ke bagian atas reaktor setinggi 10 cm. Kemudian pompa vakum dinyalakan serta reaktor dipanaskan hingga mencapai suhu 400° C. Setelah mencapai suhu yang diinginkan, kemudian dimasukan sampah plastik berjenis LDPE sebanyak 500 gram ke dalam reaktor untuk dilakukan prosespirolisis selama 60 menit. Kemudian dilakukan proses pirolisis terhadap sampah LDPE dan PP dengan variasi suhu 350°C, 300°C serta 250°C. Pengaruh suhu dan jenis plastik terhadap perolehan minyak dapat diperlihatkan pada grafik sebagai berikut.



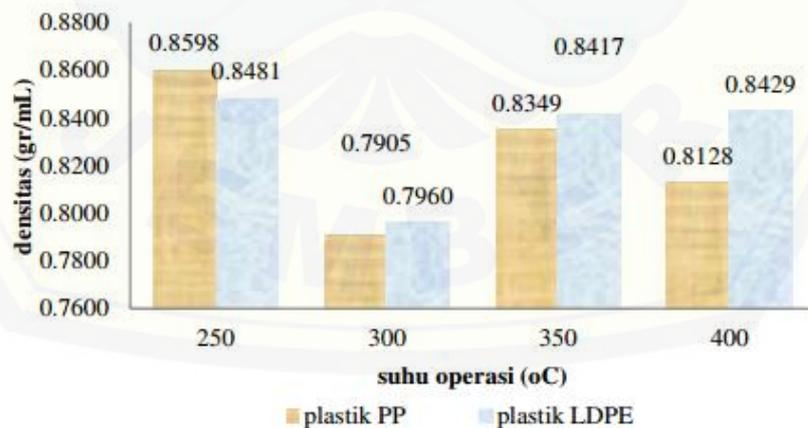
Gambar2.6 Perolehan Minyak Sebelum Dipisahkan (Sumber: Endang dkk., 2016)

Dari Gambar dapat dilihat bahwa perolehan minyak tertinggi dari pirolisis sampah plastik PP diperoleh pada suhu 400°C sebesar 50,08% berat sedangkan sampah plastik jenis LDPE diperoleh pada suhu 300°C sebesar 46,02% berat. Minyak hasil pirolisis membentuk dua lapisan yang dipisahkan dengan menggunakan corong pisah. Perolehan setelah dipisahkan dapat dilihat pada Gambar



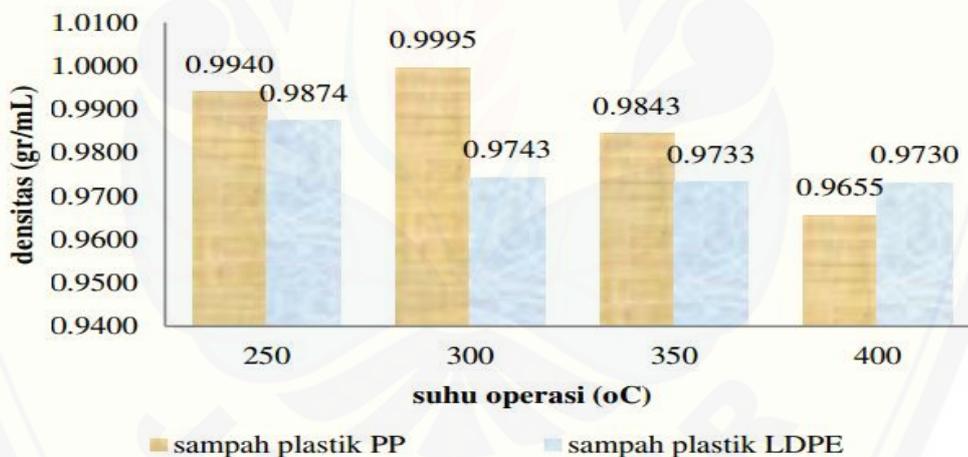
Gambar 2.7 Perolehan Minyak Setelah Dipisahkan (Sumber: Endang dkk., 2016)

Gambar menjelaskan bahwa minyak pirolisis sampah plastik setelah dipisahkan banyak mengalami penurunan perolehan dibandingkan sebelum dipisahkan karena banyak pengotor pada minyak hasil pirolisis. Pada pirolisis PP suhu 400° C perolehan minyak meningkat secara drastis karena proses pirolisis sampah plastik PP suhu 400° C produksi gas C3 dan C4 yang merupakan gas yang tidak dapat terkondensasi berkurang.



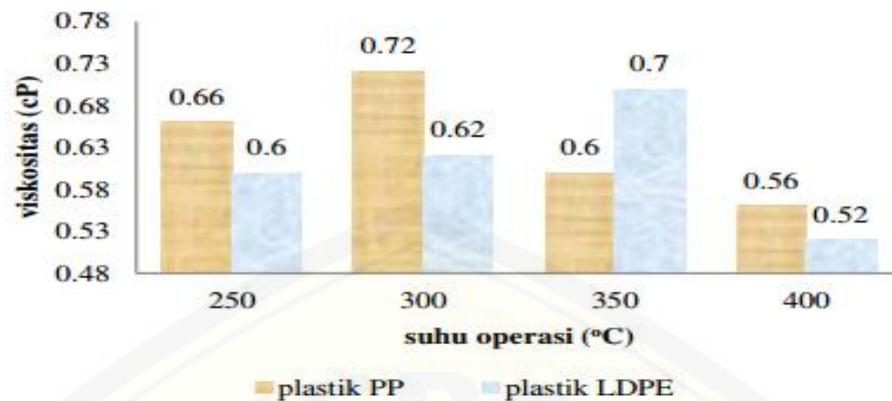
Gambar2.8 Densitas minyak Lapisan Atas (Sumber: Endang dkk., 2016)

menjelaskan bahwa densitas minyak hasil pirolisis mendekati densitas solar dan minyak tanah. Minyak hasil pirolisis PP yang mendekati densitas minyak tanah diperoleh pada suhu 300° C dan 400° C, sedangkan yang mendekati densitas solar diperoleh pada suhu 250° C dan 350° C. Sementara Minyak hasil pirolisis LDPE yang mendekati densitas minyak tanah diperoleh pada suhu 300° C, sedangkan yang mendekati densitas solar diperoleh pada suhu 250° C dan 350° C dan 400° C. Perbedaan densitas minyak pirolisis sampah plastik PP dan LDPE disebabkan oleh bahan bakunya. Sampah plastik PP memiliki densitas sebesar 0,855 gr/mL sedangkan sampah plastik LDPE memiliki densitas sebesar 0,910 gr/ml hingga 0,940 gr/ml. Minyak hasil pirolisis sampah LDPE densitasnya yang lebih besar dibanding minyak hasil pirolisis sampah plastik PP. Sementara densitas minyak lapisan bawah dapat dilihat pada gambar dibawah



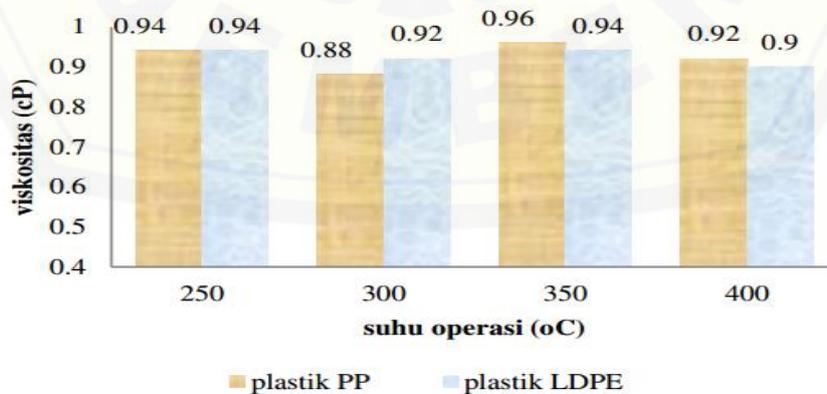
Gambar2.9 Densitas Minyak Lapisan Bawah (Sumber: Endang dkk., 2016)

Pengaruh suhu dan jenis plastik PP dan LDPE terhadap viskositas minyak lapisan atas dapat dilihat pada gambar dibawah ini pada suhu 250, 300, 350, dan 400



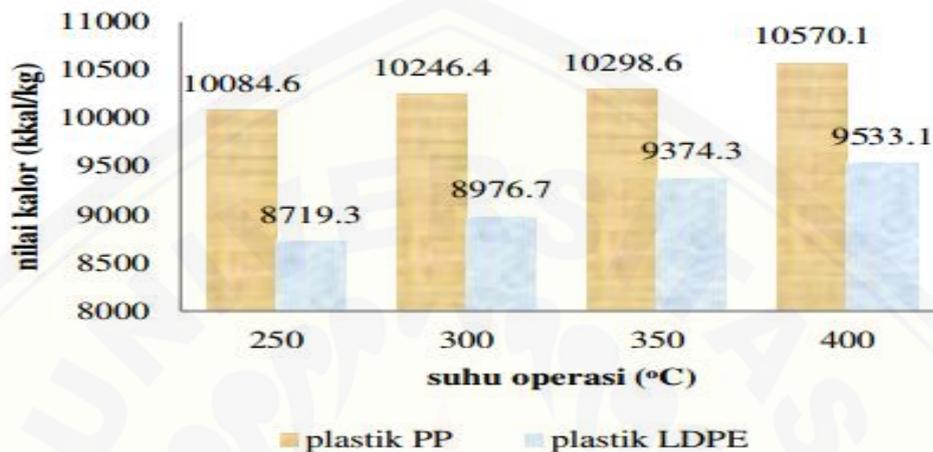
Gambar 2.10 Viskositas Minyak Lapisan Atas (Sumber: Endang dkk., 2016)

minyak hasil pirolisis PP lebih besar dibandingkan viskositas minyak LDPE yang menunjukkan bahwa minyak pirolisis PP lebih kental karena struktur kimia plastik PP lebih panjang dimana semakin panjang ikatan struktur kimia, maka viskositas akan semakin besar. Pada suhu rendah minyak pirolisis yang dihasilkan akan cenderung membentuk lilin dimana semakin tinggi suhu operasi pirolisis maka produksi lilin akan semakin berkurang. Nilai viskositas yang dihasilkan berada pada kisaran 0,52-0,7 cP nilainya hampir sama dengan bensin yaitu sebesar 0,652 cP. Nilai viskositas minyak pirolisis sampah plastik yang paling mendekati nilai viskositas bensin adalah minyak hasil pirolisis PP pada suhu 350° C sebesar 0,6 cP dan minyak hasil pirolisis LDPE pada suhu 300° C sebesar 0,62 cP. Nilai viskositas minyak pirolisis lapisan bawah dapat dilihat pada Gambar dibawah.



Gambar 2.11 Viskositas Minyak Lapisan Bawah (Sumber: Endang dkk., 2016)

Gambar 2.11 menjelaskan bahwa nilai viskositas lapisan bawah cukup tinggi berada pada 0,88 cP – 0,96 cP yang mendekati nilai viskositas air pada suhu kamar. Hal ini mempertegas bahwa minyak hasil pirolisis sampah plastik yang dihasilkan mengandung 15-20% air.



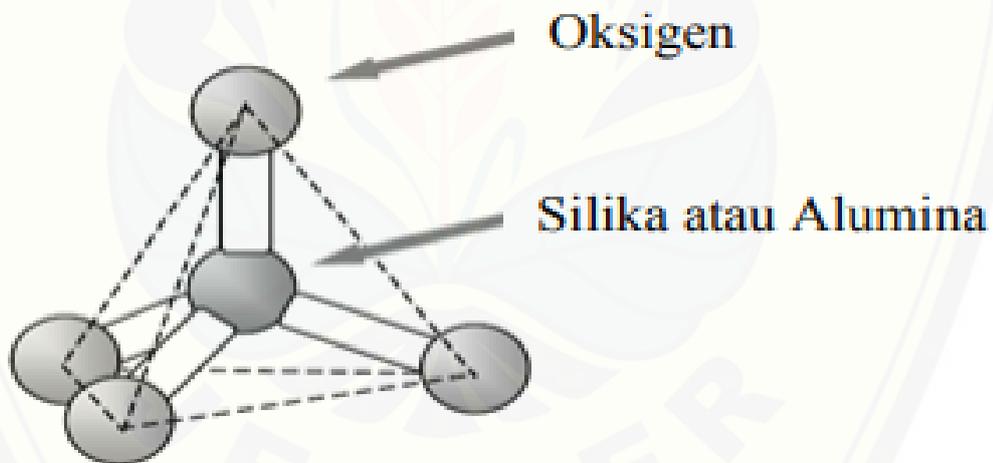
Gambar 2.12 Nilai Kalor Minyak Pirolisis (Sumber: Endang dkk., 2016)

Nilai kalor minyak pirolisis sampah plastik berada pada kisaran 8976,71 kkal/kg hingga 10570,1 kkal/kg dimana nilai tersebut mendekati nilai kalor solar sebesar 10342 kkal/kg. Nilai kalor minyak pirolisis yang mendekati nilai kalor bensin hanya pirolisis PP suhu 400° C sebesar 10570,1 kkal/kg. Gambar menjelaskan bahwa nilai kalor minyak pirolisis plastik PP dan LDPE mengalami kenaikan dengan meningkatnya suhu operasi pirolisis. Penelitian ini menunjukkan bahwa minyak pirolisis terbanyak dari sampah plastik PP diperoleh dari proses pirolisis suhu 400° C sedangkan sampah plastik LDPE diperoleh dari proses pirolisis suhu 300° C. Nilai densitas minyak hasil pirolisis plastik jenis PP dan LDPE mendekati nilai densitas dari minyak tanah dan solar. Nilai viskositas minyak hasil pirolisis PP dan LDPE mendekati nilai viskositas bensin Nilai kalor minyak pirolisis hasil pirolisis PP mendekati nilai kalor solar sedangkan nilai kalor hasil pirolisis LDPE mendekati nilai kalor solar. Nilai kalor pirolisis sampah plastik jenis PP dan LDPE meningkat dengan peningkatan suhu dinding reactor

### 2.3. Katalis

Pada proses pirolisis keberadaan katalis menjadi hal yang penting karena dapat menurunkan kebutuhan energi dibanding dengan proses pirolisis tanpa katalis serta menghasilkan formasi hidro karbon yang lebih banyak katalis juga berfungsi menurunkan waktu reaksi inisiasi dan juga katalis dapat memperbaiki kualitas dan kuantitas hasil keluaranya (Syamsiro, 2015)

Ada dua jenis katalis yang telah digunakan oleh para peneliti sebelumnya, yaitu dengan menggunakan katalis homogen dan katalis heterogen. Pada umumnya katalis heterogen adalah katalis dengan pilihan yang lebih baik dikarenakan sangatlah mudah dalam pemisahan dan mendapatkannya kembali dari dalam reaktor (Aguado, 2006). Pada umumnya penggunaan katalis akan menurunkan fraksi minyak dan residu serta meningkatkan fraksi gas jika dibanding dengan degradasi termal (Syamsiro, 2015)



Gambar 2.13 Struktur kimia zeolite (Sumber: Haag, 1984)

#### a. Katalis Zeolit

*Zeolit* digambarkan sebagai ayakan aluminosilikat kristal yang memiliki pori-pori terbuka dan kemampuan pertukaran ion (Degnan, 2000). Penggunaan zeolit katalis dalam pirolisis plastik hanya perlu memaksimalkan produk hidrokarbon yang mudah menguap. Untuk katalis zeolit dapat dibagi menjadi dua macam *zeolit* alam dan *zeolit* sintesis

### 1. *Zeolit* alam

Untuk katalis zeolit alam adalah katalis *zeolit* yang dihasilkan oleh alam tanpa penambahan dan campuran zat, bentuk katalisnya sendiri seperti batu *zeolit*. *Zeolit* alam terbentuk karena adanya proses kimia dan fisika yang kompleks dari batuan-batuan yang mengalami berbagai macam perubahan di alam.

### 2. *Zeolit* sintetis

*Zeolit* sintetis adalah suatu senyawa kimia yang mempunyai sifat fisik dan kimia yang sama dengan *zeolit* alam, *zeolit* ini dibuat dari bahan lain dengan proses sintetis. *Zeolit* ini sebagai katalis dikarenakan *zeolit* sintetis mempunyai pori pori lebih sedikit tetapi memiliki kandungan SI dan AL lebih banyak dan aktivitas katalis yang baik (Farafelli, 2001)

#### b. Katalis FCC (Perengkahan Katalitik Fluida)

katalis FCC adalah katalis yang terbuat dari kristal *zeolit* dan matriks asam non-*zeolit* dikenal sebagai silika aluminadengan pengikat. Komponen utama katalis FCC adalah zeolit-Y karena selektivitas produk yang tinggi dan stabilitas termal (Marcilli, 2000). Untuk penggunaan katalis FCC biasanya digunakan di Industri penyulingan Minyak bumi untuk memecahkan fraksi minyak berat dari minyak berat menjadi bensin dan gas cair (LPG) (Marcilli, 2000) biasanya katalis ini dapat diperoleh pada FCC komersial di kilang minyak bumi.

#### c. Katalis Pecahan Genteng

Genteng dan gerabah dibuat dengan campuran lempung alam yang mengalami beberapa tahap hingga bahan lebih padat bercampur merata dan dengan kata lain pori-pori lempung semakin rapat, selanjutnya dicetak dan dibakar pada suhu tinggi. Pecahan genteng ini sangat mudah di temui sifatnya yang alami sangat cocok untuk dijadikan sebagai katalis dikarenakan pecahan genteng dapat dengan mudah menyerap cairan atau sebagai penyaring padatan. Katalis pecahan-genteng/Nikel secara efektif mampu meningkatkan pemutusan ikatan rantai karbon menjadi fraksi C10 -C12 (Syahputra dkk., 2015)

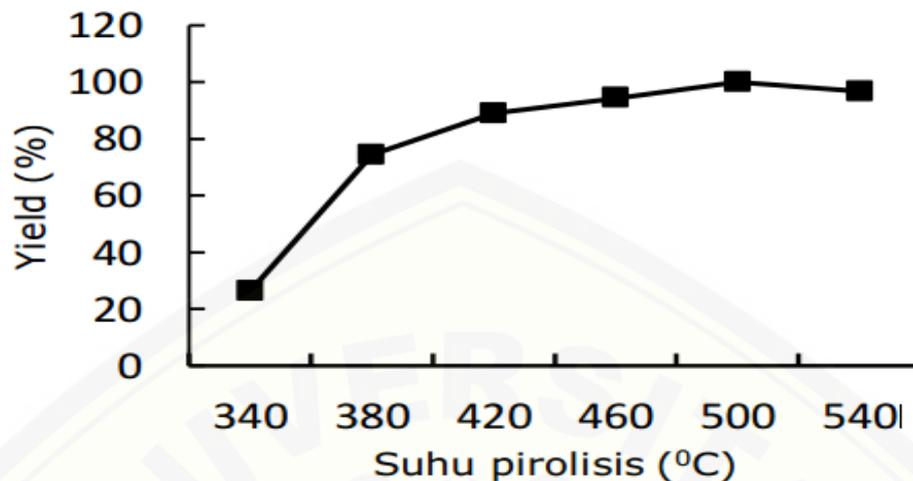
Penelitian yang dilakukan oleh Salamah dan Maryudi (2018) tentang pirolisis limbah plastik *styrofoam* menggunakan katalis silika alumina. Pirolisis *styrofoam* dilakukan pada reaktor pirolisis tipe *batch*. Pada penelitian ini menggunakan variasi berat katalis, proses dilakukan pada suhu 450° C dengan variasi berat katalis 0, 13, 26, 39, 52, dan 65 gram. Proses pirolisis dengan variasi suhu, proses dilakukan dengan berat katalis 26 gram (massa optimum) dan dengan variasi suhu operasi pirolisis 340, 380, 420, 460, 500, dan 540°C. Dihasilkan data pengaruh katalis terhadap *yield* produk. Dari hasil yang didapatkan, *yield* cairan tanpa adanya katalis (0 % berat) yang didapat adalah 85,33%, namun *yield* cairan ini bertambah dengan adanya penggunaan katalis, dan menurun seiring dengan semakin banyaknya kadar katalis yang digunakan (% berat umpan). *Yield* cairan tertinggi pada kadar katalis 20 % berat umpan yaitu 95,56%. Hal ini disebabkan karena *yield* cairan pada komposisi katalis diatas 20%.

Tabel 2.5 *yield* cairan pirolisis dengan variasi berat katalis silika alumina

No	Berat <i>Styrofoam</i> (gram)	Berat katalis (gram)	Silik-alumina (% berat umpan)	<i>Yield</i> cairan (%)
1	130	0	0	85,33
2	130	13	10	94,96
3	130	26	20	95,56
4	130	39	30	89,84
5	130	52	40	92,92
6	130	65	50	76,48

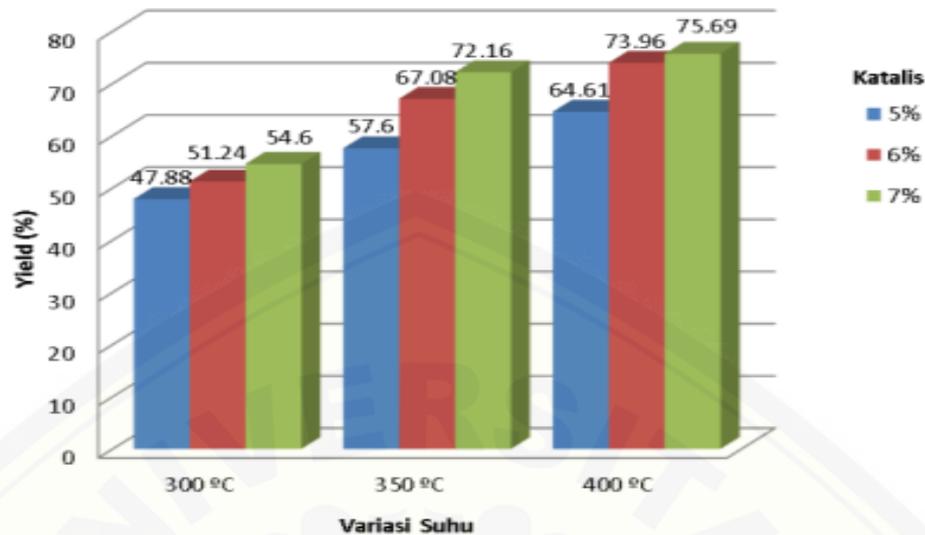
Sumber: Salamah dan Maryudi, 2018

Selanjutnya dengan variabel suhu, dan berat katalis tetap selama 120 menit dapat disimpulkan bahwa suhu pirolisis sangat mempengaruhi produksi *yield* cairan, semakin tinggi suhu pirolisis, *yield* cairan semakin bertambah. *Yield* cairan optimum pirolisis *styrofoam* ini didapatkan pada suhu 500°C, dimana *yield* cairannya adalah 100%, hal ini kemungkinan terjadi karena adanya peningkatan energi kinetik yang menyebabkan pergerakan partikel meningkat



Gambar 2.14 Grafik Hasil Pirolisis *Styrofoam* dengan Variabel Suhu Pirolisis (Sumber: Salamah dan Maryudi, 2018)

Rahman dkk., (2017) meneliti tentang pengaruh suhu dan persen katalis *zeolit* terhadap *yield* pirolisis limbah plastik *polypropylene* (pp) pada penelitian ini bahan yang digunakan adalah plastik PP dan katalis *zeolit* sintesis yang telah di aktivasi gas nitrogen dan aquades. Variabel tetap yang digunakan yaitu Ukuran plastik *polypropylene*, Berat plastik 100 gram, Ukuran *zeolit sintesis* 20 mesh dan Waktu reaksi 60 menit. Variabel bebas yaitu suhu reaksi 300°C, 350°C dan 400°C. *Zeolit sintesis* sebelum digunakan terlebih dahulu diaktivasi, dengan cara dipanaskan dengan furnace dengan suhu 400°C dengan waktu 1 jam. Tujuan pemanasan agar pori-porinya *zeolit sintesis* terbuka lagi, katalis lebih bagus, dan dapat dijadikan umpan. Hasil dari penelitian adalah *Yield* tanpa katalis meningkat dengan naiknya suhu, *Yield* tertinggi diperoleh pada suhu 400° C yaitu 65.57 %, kemudian 300°C diperoleh 43,68% dan suhu 350° C mencapai 58,32% dimana didalam reaktor terjadi proses perengkahan (*Cracking*). Pengaruh Suhu Terhadap Perolehan *Yield* Pirolisis Dengan Katalis *Zeolit Sintesis* yaitu semakin meningkat suhu reaksi, maka semakin meningkat juga *yield* produk yang dihasilkan



Gambar 2.15 Grafik Pengaruh Suhu dan Persen Katalis *Zeolit Sintetis* terhadap Perolehan *Yield* Pirolisis (Sumber: Rahman dkk., 2017)

Berdasarkan grafik diatas dapat di ketahui *Yield* tertinggi terjadi pada suhu 400°C sebesar 75.69 % dengan persen katalis yaitu 7 %. Peningkatan *yield* yang signifikan ini disebabkan oleh semakin meningkatnya suhu yang digunakan, semakin tinggi suhu maka *yield* cair yang dihasilkan akan semakin besar. Syahputra dkk., (2015) meneliti tentang Pemanfaatan Limbah Pecahan Genteng sebagai Katalis dalam Reaksi Pirolisis Plastik Polipropilena Menjadi Bahan Bakar Alternatif. Pada penelitian ini menggunakan bahan sampah plastik polipropilena yang dilakukan dengan mempersiapkan bahan sampah plastik 1,3 kg yang berasal dari gelas air minum dalam kemasan. Dan katalis yang digunakan adalah pecahan genteng. Pemanasan dilakukan pada suhu 450° C tanpa adanya proses pengadukan. Minyak hasil pirolisis dihasilkan 1700 ml dari limbah polipropilena 1300 gram. Sementara proses *reforming* minyak hasil pirolisis yang dilakukan menggunakan katalis pecahan genteng *loading* Nikel, diperoleh hasil cairan minyak yang berbeda sifat fisika dan kimianya dengan hasil % *yield* sebesar 0,37%; 0,21% cairan atas bukan bahan bakar dan 0,42% residu minyak. Nuryosuwito dkk., (2018) meneliti tentang proses pyrolisis sampah plastik jenis pet dengan katalis alam dari klaten jawa tengah indonesia Dalam penelitian ini

akan dilakukan pengujian pirolisis plastic menggunakan sistem reactor tipe *batch* dan sebuah kondenser yang dihubungkan dengan tanki penyimpanan minyak. Pengaruh temperatur terhadap hasil cair yang diperoleh semakin tinggi temperatur, hasil yang diperoleh juga semakin banyak. Hasil terbanyak produk pirolisis (cair) dari bahan plastik PET murni terdapat pada suhu 350° C sebanyak 160 ml dan pada plastic PET dengan katalis hasil terbanyak pada suhu tertinggi yaitu 350° C sebanyak 150 ml dengan pemanasan 60 mnit. Dan sedangkan Nilai Viskositas terendah terdapat pada suhu 300° C dengan sampel plastik PET murni yaitu 0,29 dPa.S sedangkan untuk sampel plastik yang dicampur dengan katalis viskositas terendah terdapat pada suhu 250° C dengan nilai 0,29 d.Pa.S. Nilai densitas terendah terdapat pada suhu 300° C dengan sampel plastik PET murni yaitu 730 kg/m<sup>3</sup>, sedangkan untuk sampel plastik PET yang dicampur dengan katalis densitas terendah berada pada suhu 250° C dengan nilai 780 kg/m<sup>3</sup>

#### **2.4 Pengujian Karakteristik Minyak Bahan Bakar Cair**

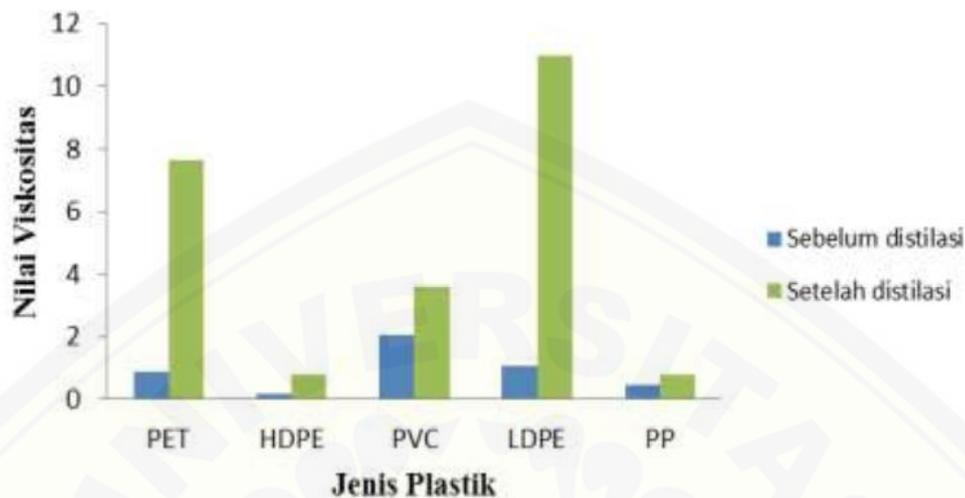
Bahan bakar cair adalah bahan yang tersusun dari bahan hidokarbon yang berasal dari alam maupun secara buatan, pada umumnya berasal dari minyak bumi. Minyak bumi menghasilkan produk berwarna hitam sampai coklat,berbentuk cair dan mengandung gas yang larut di dalam minyak bumi.

Bahan bakar cair yang dinyatakan bagus harus melewati beberapa pengujian sehingga akan diketahui karakteristik minyaknya. Ada beberapa karakteristi pengujian yang perlu diketahui sebagai berikut:

##### **a. Viskositas**

viskositas adalah nilai kekentalan yang terdapat pada cairan atau fluida, menyatakan besar gaya gesek yang terkandung di dalam cairan. Semakin besar nilai viskositas cairan maka cairan semakin kental dan kebalikannya semakin kecil viskositas maka cairan akan mudah mengalir. Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Rahmaniah dkk., (2016) melakukan pengujian viskositas pada

plastik PET, HDPE, PVC, LDPE, dan PP, pada pengujian ini menggunakan dua varian yaitu sebelum distilasi dan sesudah distilasi diperoleh data sebagai berikut



Gambar 2.16 Pengujian Viskositas Beberapa Jenis Plastik (Sumber: Rahmania dkk., 2016)

nilai viskositas sebelum distilasi lebih rendah dibandingkan dengan nilai viskositas sesudah distilasi. Hal ini disebabkan masih banyaknya kandungan air dan pengotor yang bercampur pada sampel sebelum distilasi, sehingga pada saat proses distilasi terjadi penguapan pada air dan pengotor tersebut. Dari proses yang dilakukan, didapatkan hasil dari pengujian nilai viskositas untuk plastik PET, LDPE, PP dan PVC sebelum dilakukan distilasi termasuk standar dari bahan bakar minyak tanah. Sedangkan Untuk jenis plastik HDPE dan PP setelah distilasi termasuk standar bahan bakar minyak tanah. Pada jenis plastik LDPE memiliki nilai viskositas setelah distilasi lebih tinggi dibandingkan dengan jenis plastik yang lain. Hal ini disebabkan karena jenis plastik LDPE memiliki banyak kandungan air sehingga pada proses distilasi terjadi penguapan. Ada beberapa faktor yang akan mempengaruhi kadar kekentalan pada suatu cairan sebagai berikut

### 1. Temperatur

Temperatur adalah faktor yang dapat mempengaruhi viskositas suatu cairan, viskositas akan naik seiring dengan naiknya temperatur sebuah cairan. Naiknya temperatur zat cair akan menyebabkan molekul bergerak sehingga menimbulkan gaya dan interaksi antar molekul menjadi lemah.

### 2. Tekanan

Tekanan dapat mempengaruhi viskositas dari sebuah cairan dan sedangkan viskositas dari suatu gas tidak dipengaruhi oleh tekanan.

### 3. Kehadiran Zat Lain

Kehadiran zat lain atau penambahan zat lain merupakan faktor yang dapat mempengaruhi kekentalan suatu cairan, sehingga bila cairan yang berbeda ditambahkan maka dapat mempengaruhi semakin tinggi atau semakin rendah pada kekentalan cairan awalnya.

### 4. Konsentrasi Larutan

Konsentrasi larutan juga dapat mempengaruhi tingkat kekentalan dikarenakan semakin tinggi konsentrasi larutan maka semakin tinggi juga tingkat kekentalan larutan. Karena konsentrasi larutan dipengaruhi oleh faktor banyaknya partikel yang terlarut dalam setiap satuan volum, dikarenakan adanya partikel yang saling bergesekan dan viskositasnya meningkat

### 5. Ukuran dan Berat Molekul

Viskositas juga dapat dipengaruhi dengan adanya ukuran dan berat molekul. Dikarenakan ikatan antara molekul molekul semakin banyak sehingga suatu cairan dapat menjadi kental.

### b. Titik Nyala

Titik nyala dapat menyatakan suhu terendah dari bahan bakar minyak yang yang bercampur dengan udara sehingga akan timbul nyala api sesaat permukaan minyak didekatkan pada api. Pada sifat ini akan menjadi acuan mengenai tingkat keamanan minyak terhadap tingkat bahaya kebakaran

### c. Nilai Oktan

Angka yang menunjukkan besarnya tekanan yang diberikan sebelum bensin terbakar secara spontan di dalam mesin. Dengan kondisi bahan bakar bercampur dengan udara dalam bentuk gas dilakukan penekanan kompresi oleh piston sampai volume terkecil kemudian terbakar oleh percikan api busi. Selain itu faktor yang dapat mempengaruhi yaitu besarnya tekanan yang dapat

### d. Masa Jenis

Menurut Kartika (2009) kerapatan dapat diartikan sebagai jarak atau ukuran antar partikel-partikel dalam suatu zat. Kerapatan dalam fluida dilambangkan dengan ( $\rho$ ) didefinisikan sebagai masa jenis. Masa jenis atau densitan atau rapatan merupakan pengukur masa setiap satuan volume benda. Semakin tinggi masa jenis pada benda, maka semakin besar masa dari setiap volumenya.

$$\rho = \frac{m}{v} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dengan :

$\rho$  = masa jenis ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

m = masa (kg)

v = volume ( $\text{m}^3$ )

Untuk melihat kelayakan pada minyak pirolisis dapat dilakukan perbandingan dari hasil karakteristik minyak pirolisis dengan minyak bahan bakar motor yang digunakan pada kendaraan bermotor. Berikut ini adalah tabel uji karakteristik minyak yang digunakan sebagai bahan bakar kendaran bermotor:

Tabel 2.7 Uji Karakteristik Minyak

No	Jenis Minyak	Viskositas	Masa jenis	Flash poin	Angka Oktan
1	Premium	1,17	715-770	-43	88
2	Pertamax	1,17	715-770	-43	92
3	Pertamina Dex	2,0- 4,5	820-860	55	-
4	Solar/Biosolar	1,9- 4,1	815-816	52	-
5	Minyak tanah	1,4-2,7	835	38	-
6	Minyak diesel	2,5-11,0	900	60	-

Sumber: Pertamina 2017

## 2.5 Hipotesis

Bedasarkan tinjauan pustaka, didapatkan hipotesis yaitu pirolisis dapat menjadi solusi dalam mengurangi bertambahnya tumpukan sampah yang khususnya di kota-kota besar. dan juga pirolisis merupakan solusi yang tepat dalam kegiatan energi terbarukan. Pada proses pirolisis sampah plastik dengan menggunakan tabung katalis luar hasil dari proses pirolisis katalis lebih baik dikarenakan katalis dapat mengurangi padatan yang terbawa oleh uap pirolisis, dan mengurangi kandungan *wax* yang terbawa oleh uap hasil pirolisis. Pada pirolisis penggunaan katalis dapat mengurangi minyak pirolisis dibanding tanpa katalis

## BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Alat dan Bahan

#### 3.1.1 Alat

Alat yang di gunakan dalam penelitian ini adalah meliputi sebagai berikut:

- |                               |                                                |
|-------------------------------|------------------------------------------------|
| a. Tabung reaktor             | : 12 kg                                        |
| b. Pipa tembaga               | : $\frac{1}{4}$ , $\frac{1}{2}$ dim            |
| c. Tabung katalis             | : 2 kg                                         |
| d. Kondensor                  | : 9 L                                          |
| e. Gelas ukur                 | : 500 ml                                       |
| f. <i>Thermocouple</i>        | : $-50^{\circ}\text{C} - 1300^{\circ}\text{C}$ |
| g. <i>Pressure gauge</i>      | : $350 \text{ kg/cm}^3$                        |
| h. Timbangan                  | : 5000 g                                       |
| i. Burner                     | : -                                            |
| j. Pompa air                  | : 2000 L/H                                     |
| k. Penampung cairan pendingin | : 8 L                                          |

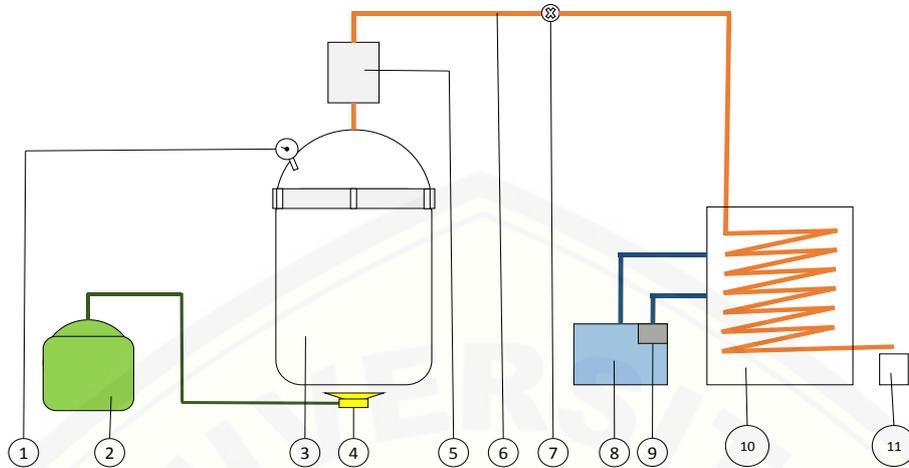
#### 3.1.2 bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah sampah plastik:

- PET (*polyethylene terephthalate*)
- PP (*polypropylene*)

### 3.2 Skema Alat

Pada proses pirolisis limbah plastik dapat dijadikan minyak pirolisis dengan cara dipanaskan dalam tabung reaktor kemudian uap hasil pemanasan tersebut di kondensasikan sehingga hasil keluaran berupa cairan pirolisis. Alat yang digunakan dalam proses tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut.



Gambar 3.1 Skema Alat Pirolisis

1. *Pressure gauge*

*Pressure gauge* berfungsi untuk mengukur tekanan yang ada pada tabung reaktor

2 Tabung gas

Tabung gas LPG 3 kg sebagai penyuplai bahan bakar kompor burner.

3 Tabung Reaktor

Tabung reaktor berfungsi sebagai tempat penampung plastik dan tempat penghasil uap plastik.

4. Kompor/ burner

Sebagai pemanas untuk memanaskan tabung reaktor.

5. Tabung katalis

Tabung katalis adalah tabung tempat meletakkan katalis yang akan dilewati uap hasil pemanasan plastic dari tabung reaktor

6. Pipa tembaga

Pipa tembaga berfungsi sebagai penyalur uap dari tabung katalis menuju tempat kondensasi atau kondensor.

7. Valve/ katup

Valve katup digunakan untuk mengatur tekanan dalam tabung reaktor

8. Penampung air

Penampung air digunakan untuk menampung air pendingin yang dipompa ke kondensor dan bersirkulasi kembali kepenampung air.

9. Pompa air

Pompa cairan berfungsi sebagai untuk pemompa cairan pendingin yang akan dipompa dan di salurkan ke tabung pendingin

10. Kondensor

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

11. Gelas ukur

Wadah penampung dari cairan minyak pirolisis

### 3.3. Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu dan tempat yang digunakan dalam penelitian pirolisis menggunakan sampah plastik PET dan PP sebagai berikut:

Waktu : 1 juli 2019

Tempat : Laboratorium Konversi Energi Fakultas Teknis

Universitas Jember

### 3.4. Metode Penelitian

Pada karya tulis ini digunakan metode untuk menunjang dan mempermudah dalam melakukan penelitian pirolisis menggunakan tabung katalis luar, dengan metode sebagai berikut.

#### 3.4.1 Studi Literatur

Pada penelitian ini tentang pirolisis menggunakan sampah plastik PET dan PP yang dilakukan dengan studi literatur pada bentuk reaktor dan tabung katalis luar menggunakan variasi waktu tahanan pemanasan dan jenis sampah plastik

PET dan PP untuk menghasilkan minyak pirolisis yang dapat bernilai dan berdayaguna.

#### 3.4.2 Konsultasi

Penelitian ini dilakukan konsultasi kepada dosen pembimbing dan dosen lainnya untuk mendapatkan arahan dan petunjuk dalam menyelesaikan penelitian ini tentang pirolisis menggunakan katalis luar dari sampah plastik PET dan PP

#### 3.4.3 Eksperimen

Eksperimen ini dilakukan untuk mendapatkan data hasil penelitian pirolisis menggunakan katalis tabung luar dari sampah plastik PET dan PP dan kemudian dilakukan analitik pada data yang didapatkan.

#### 3.4.4 Analitik

Analisa dilakukan untuk mengetahui kandungan minyak hasil pirolisis dari sampah plastik PET (*polyethylene terephthalate*) dan PP (*polypropylene*)

### 3.5 Variabel

Pada penelitian ini digunakan variabel yang menjadi fokus dari penelitian untuk mendapatkan kandungan minyak yang sesuai dengan keinginan dalam penelitian pirolisis. Variabel tersebut meliputi sebagai berikut:

#### 3.5.1. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang dapat mempengaruhi terjadinya perubahan pada penelitian, sehingga dapat diamati dan dianalisis. Variabel bebas pada penelitian pirolisis ini adalah:

- a. PET (*polyethylene terephthalate*).
- b. PP (*polypropylene*).
- c. Waktu penahana 30 menit, 40 menit, dan 50 menit.

### 3.5.2 Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang dapat diamati dan nantinya sebagai hasil penelitian. Variabel terikat pada penelitian ini adalah hasil keluaran dari proses pirolisis dalam bentuk minyak (ml) minyak hasil pirolisis dari bahan sampah plastik PET (*polyethylene terephthalate*) dan PP (*polypropylene*)

### 3.5.3 Variabel Kontrol

Pada penelitian pirolisis menggunakan variabel control adalah variabel kendali yang mana variabel ini tidak diubah dalam penelitian. Variabel kontrol yaitu sebagai berikut:

- a. Berat plastik PP dan PET 300 gram.
- b. Suhu maksimal tabung reaktor 380° C

## 3.6 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yang dilakukan dapat menghasilkan minyak pirolisis yang sesuai dengan harapan dan dapat digunakan sebagai penelitian. Supaya hasil penelitian berjalan dengan baik maka disusunlah prosedur penelitian sebagai berikut:

- a. Menyiapkan bahan-bahan yang digunakan untuk pembuatan alat penelitian:  
bahan: tabung gas, pipa tembaga  $\frac{1}{2}$  dan  $\frac{1}{4}$ , timba, pompa air, gelas ukur, kompor, selang air, kran, *pressure gauge*.
- b. Pembuatan alat penelitian pirolisis menggunakan bahan bahan yang sudah disiapkan penyambungan pipa, pengelasan tabung reaktor, pembuatan tabung kondensor.
- c. Persiapan bahan dengan mengumpulkan bahan berupa sampah plastik PET dan PP serta katalis *zolit* alam serta membersihkan plastik dan mencacah plastik.
- d. Memasukkan dan juga memproses plastik pada reaktor dan dijaga suhu panas yang digunakan serta Mengumpulan data hasil proses pirolisis bahan sampah plastik PET dan PP.

- e. Mengolah data-data yang diperoleh dari hasil pirolisis bahan sampah plastik PET dan PP yang dikelompokkan berdasarkan variasi katalis dan penahanan temperatur.
- f. Menganalisa pengaruh variasi katalis dan lama penahanan temperatur terhadap jumlah minyak yang dihasilkan dari proses pirolisis.
- g. Melakukan penarikan kesimpulan dari hasil penelitian.

### 3.7 Pengambilan Data

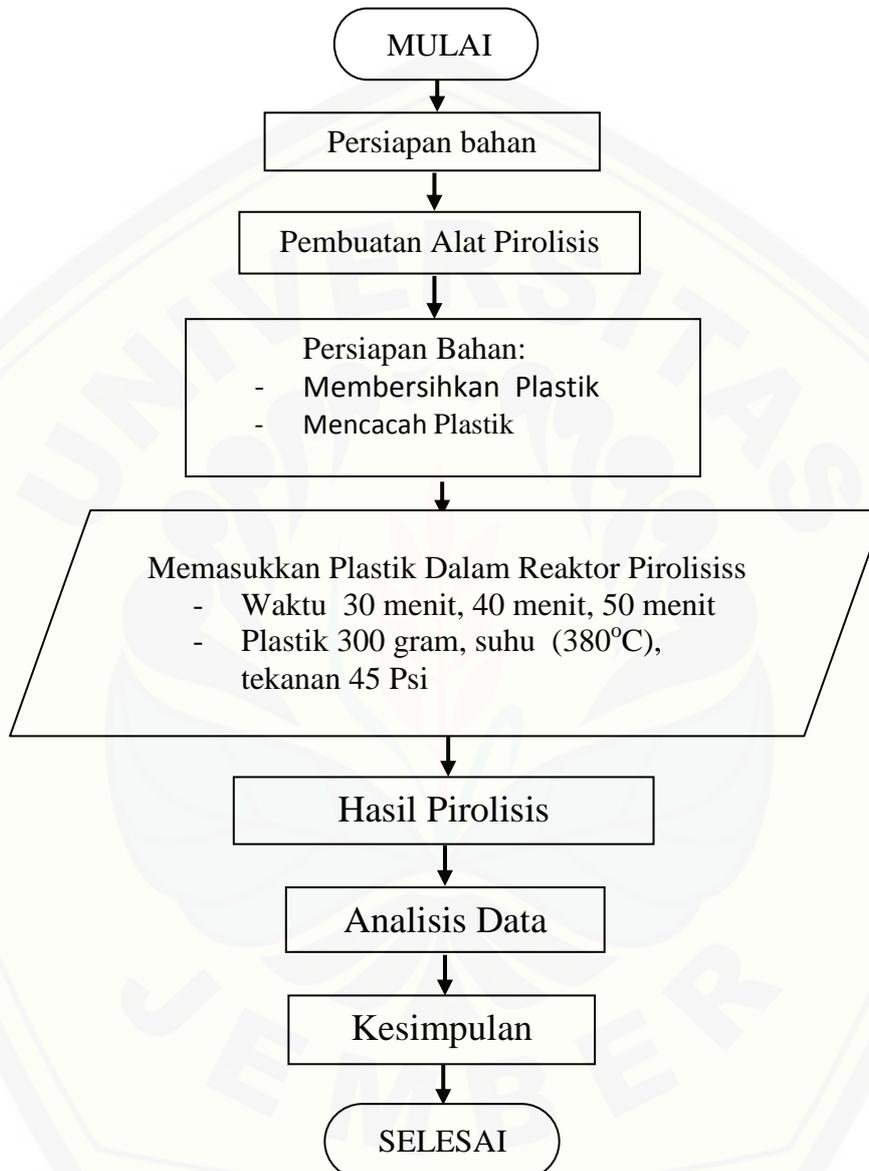
Pengambilan data dilakukan pada proses pengujian, pengujian dilakukan dengan menggunakan bahan penelitian plastik PET dan PP

Tabel 3.1 Pengambilan Data

Plastik	Suhu (T)	Perlakuan	Tekanan (P) (Psi)	Waktu (t)	Pengulangan			Hasil Rata-Rata Liquid (MI)	Hasil Arang (Gram)	
					1	2	3			
PP (300 Gram)	380°C (375-385°C)	Katalis	45 Psi	30						
			45 Psi	40						
			45 Psi	50						
		Tanpa Katalis	45 Psi	30						
			45 Psi	40						
			45 Psi	50						
PET (300 Gram)	380°C (375-385°C)	Katalis	45 Psi	30						
			45 Psi	40						
			45 Psi	50						
		Tanpa Katalis	45 Psi	30						
			45 Psi	40						
			45 Psi	50						

### 3.8 Diagram Alir Penelitian

Alur dari pengerjaan penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.2 sebagai berikut



Gambar 3.2 Diagram Alir

## BAB 5 PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil pembahasan pada bab diatas dapat diambil kesimpulan yaitu sebagai berikut:

1. Hasil minyak yang diperoleh pada proses pirolisis plastik PP dan PET memiliki perbedaan masa jenis. Perbedaan masa jenis pada plastik PP tanpa katalis 0,76 gram/ml, PP katalis 0,769 gram/ml dan PET tanpa katalis masa jenis 0,79 gram/ml, PET katalis 1,167 gram/ml
2. Pada proses pirolisis dengan menggunakan variasi lama penahanan temperatur sangat mempengaruhi jumlah minyak yang dihasilkan, jadi semakain lama waktu penahanan maka jumlah minyak yang di peroleh akan semakain banyak. Hasil minyak yang diperoleh pada proses pirolisis paling banyak pada plastik PP tanpa katalis sebanyak 76 ml, PET tanpa katalis 65 ml, PP katalis 33 ml, dan PET katalis 23 ml
3. Penggunaan katalis luar tabung reaktor dapat mempengaruhi minyak yang dihasilkan dari proses pirolisis menjadi lebih jernih dan juga dapat mempengaruhi hasil nilai viskositas cairan. Plastik PP dengan menggunakan katalis luar tabung memiliki nilai viskositas sebesar 0,4 dPa.s, dan plastik PP tanpa katalis memiliki nilai viskositas sebesar 0,3 dPa.s. Plastik PET tanpa katalis sebesar 0,3 dPa.s

### 5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan dari penelitian pirolisis dengan menggunakan katalis luar ini adalah sebagai berikut:

1. Diharapkan melakukan pembenahan pipa kondensor supaya dapat melakukan proses kondensasi dengan maksimal.
2. Perlu dilakukan penambahan ukuran pada tabung katalis menjadi lebih besar supaya penggunaan katalis lebih maksimal.

3. Perlu dilakukannya perbaikan pada pemanas reaktor sehingga dapat memanaskan temperatur yang diinginkan dengan maksimal dan dapat menghasilkan minyak lebih banyak



**DAFTAR PUSTAKA**

- Aguado, J., D.P. Serrano, dan Escola, J.M. 2006. Catalytic upgrading of plastic wastes. in: J. Scheirs (Ed.) Feedstock recycling and pyrolysis of waste plastics. *John Wiley & Sons*, West Sussex - UK, pp. 73-110
- Aguado, J., D.P. Serrano., J.M. Escola.,E. Garagorri, dan Fernandes, J.A. 2000. Catalitic conversion poliyolefins into fuels ofer zeolite beta. *Polym. Degrad. Steb.* 70(1) 97.
- Aguado, J., D.P. Serrano., G. San Miguel., M.C. Castro, dan Madrid. S. 2007. Feedstock recycling of polyethylenein a two-step thermo catalytik reaction sistem. *Journal of analitical an aplied pyrolysis.* 79: 415-423.
- Bemis. R., N Jamarun., dan S. Arief. 2012. Pengolahan Limbah Polipropilen Menjadi Bahan Bakar Cair Melaluimetode Pirolisis. *Jurnal riset kimia.* 5(2): 158-164
- Budiyantoro, C. 2010. *Thermo plastik dalam industri.* Surakarta: Teknika Media.
- Buekens, A.G., dan Huang, H. 1998. Catalytic plastics cracking for recovery of gasoline-range hydrocarbons from municipal plastic wastes. *Resources. Conservation and Recycling.* 23: 163-181
- Das, S., dan Pande, S. 2007. Pirolisis and catalytik cracking of municipal plastik waste for recovery of gasoline rage hydrocarbons. *Tesis.* Chemical Engineering Departement National Institute of Techenology Rourkela.
- Degnan Jr, T.F. 2000. Applications of zeolites in petroleum refining. *Top Catal.* 13: 349-56.
- Endang, K., G. Mukhtar., Abed Nego., F.X. Angga, dan Sugiyana. 2016. Pengolahan sampah plastik dengan metoda pirolisis menjadi bahan bakar minyak. *Teknik Kimia.* 16: 1-5
- Faravelli, T., Pinciroli. M., F. Pisano., G. Bozzano., M. Dente, dan E. Ranzi. 2001. Thermal Degradation of polystyrene. *J Anal Appl. Pyrolysis.* 60: 103-121.
- Fogler, H.S. 2010. *Elements of chemical reaction engineering.* New Jersey: Pearson Education Inc.
- Haag,W.O., R. M. Lago, and P. B. Wisz. 1984. *The Active Site Of Acidic Aluminosilicate Catalysts.* Nature. 309
- Kaminsky, W., dan Kim J-S. 1999. Pyrolysis of mixed plastics into aromatics. *J Anal Appl Pyrol.* 51: 127-134.

- Kartika, E. 2009. Alat Ukur Massa Jenis Zat Cair Dengan Menggunakan Metode Mohr. *Skripsi*. Depok: Program Sarjana Fakultas Matematika Dan Ilmu Universitas Indonesia.
- Kumar, S., A.K. Panda, dan Singh, R.K. 2011. Review On Tertiary Recycling Of High Dencity Polyethylene To Fuel. Resources. *Conservation and Recycling*. 55: 893-910..
- Marcilly, C.R. 2000. Where and how shape selectivity of molecular sieves operates in refining and petrochemistry catalytic processes. *Top Catal*. 13: 357-66.
- Maryudi, dan Setyawan, M. 2014. Karakterisasi Sampah Plastik Pembungkus Terseleksi Untuk Proses Pirolisis. *Simposium Nasional Teknologi Terapan*. 2: 39-43.
- Murata, K., Brebu M, dan Sakata, Y. 2010. The effect of silica-alumina catalysts on degradation of polyolefns by a continuous flow reactor, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 89: 30-38.
- Nuryosuwito, S., W. Sujito, E. Wijayanti, N. Hamidi, dan Am. Mufarrih. 2018. Investigasi Terhadap Hasil Proses Pyrolisis Sampah Plastik Jenis Pet Dengan Katalis Alam Dari Klaten Jawa Tengah Indonesia. Seminar Nasional Inovasi Teknologi. *Jurnal teknik*. 113-118
- Pertamina. 2017. Pertamina Industrial Fuel Marketing. <https://www.pertamina.com/industrialfuel/products-services/fuel-product/>. (Diakses pada 27 November 2019).
- Racmawati, Q., dan W. Herumurti. 2015. Pengolahan sampah secara pirolisis dengan variasi rasio komposisi sampah dan jenis plastik. *Jurnal Teknik ITS*. 4(1): (27-29).
- Rahman, M.T.A, S. Daud, dan M Reza. 2017. Pengaruh Suhu Dan Porsen Katalis zolit terhada yield pirolisis limbah plastik Polypropylne (PP). *Jurnal Teknik Lingkungan*. 4(2): 1-7
- Rahmaniah., Nurhalimah, dan Sahara. 2016. Uji Kualitas Fisis Pengolahan Limbah Plastik Menjadi Bahan Bakar Alternatif. *Jurnal Teknosains*.10(2): 223-234
- Ramadhan, A., dan M. Ali. 2012. Pengolahan sampah plastik menjadi minyak Menggunakan proses pirolisis. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*. 4: 44-53.
- Salamah, S., dan Maryudi. 2018. Proses pirolisis limbah styrofoam menggunakan katalis silika-alumina. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*.13(1): 1-7.
- Sucipto, C. D. 2012. *Teknologi Pengolahan Daur Ulang Sampah*. Yogyakarta.: Gosyen Publishing.

- Syahputra, R.J.E., T. Utami., K.D. Nugrahaningtyas., A.F. Ridasepri., W.Astuti. 2015. Pemanfaatan Limbah Pecahan Genteng sebagai Katalis dalam Reaksi Pirolisis Plastik Polipropilena Menjadi Bahan Bakar Alternatif. *Jurnal Rekayasa Kimia Dan Lingkungan*.10(3): 127-134.
- Syamsiro, M. 2015. Kajian Pengaruh Penggunaan Katalis Terhadap Kualitas Produk Minyak Hasil Pirolisis Sampah Plastik. *Jurnal Teknik*.5: 47-56.
- Syarief, R. 1991. *Teknologi Penyimpanan Pangan*. Jakarta: Penerbit Arcan.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H, dan Vigil, S. 1993. *Integrated Solid Waste Managemen*. New York: McGraw-Hill.
- UNEP (United Nations Environment Programme). 2009. *Converting Waste Plastics Into a Resource*, Division of Technology, Industry and Economics International Environmental Technology Centre, Osaka/Shiga
- Wahyudi, 2001. Pemanfaatan blotong menjadi bahan bakar cair dan arang dengan proses pirolisis. *Skripsi*. Surabaya: Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan UPN Veteran.
- Widjajanti, E. 2005. *Pengaruh katalisator terhadap laju reaksi*, Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta.
- Xingzhong, Y. 2006. Converting waste plastics into liquid fuel by pyrolysis: Developments in China. in: J. Scheirs, W. Kaminsky (Eds.), Feedstock recycling and pyrolysis of waste plastics. *John Wiley & Sons*, West Sussex. 729-755

LAMPIRAN

LAMPIRAN A. DATA PENELITIAN

A.1 Data Pirolisis Plastik PET dan PP

Tabel A.1 Pengambilan Data

Plastik	Suhu (T)	Perlakuan	Tekanan (P) (Psi)	Waktu (t)	Pengulangan			Hasil Rata-Rata Liquid (ml)	Hasil Arang (Gram)
					1	2	3		
PP (300 Gram)	380°C (375-385°C)	Katalis	45 Psi	30	18	26	33	25	122
			45 Psi	40	20	28	35	28	109
			45 Psi	50	29	36	40	33	92
		Tanpa Katalis	45 Psi	30	46	53	48	49	134
			45 Psi	40	68	64	72	68	151
			45 Psi	50	76	74	79	76	102
PET (300 Gram)	380°C (375-385°C)	Katalis	45 Psi	30	15	11	18	15	117
			45 Psi	40	17	22	20	20	101
			45 Psi	50	19	25	23	23	89
		Tanpa Katalis	45 Psi	30	37	34	41	37	127
			45 Psi	40	49	49	55	52	104
			45 Psi	50	65	68	63	65	91

## A.2 Data Karakteristik Minyak Hasil Pirolisis Plastik



**UNIVERSITAS AIRLANGGA**  
**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**  
**DEPARTEMEN FISIKA**  
**LABORATORIUM FISIKA MATERIAL**

Kampus C Mulyorejo Surabaya 60115 Telp 031-5936501 Fak 031 5936502  
 Web-site: <http://www.fsaintek.unair.ac.id> – e mail: [saintek@unair.ac.id](mailto:saintek@unair.ac.id)

---

**SURAT KETERANGAN HASIL UJI SAMPEL**  
 No : 11/UN3.18.7/LM/2019

Bahan uji : Cairan Polimer  
 Jenis Uji : Massa jenis dan viskositas  
 Tanggal Uji : 5 Nopember 2019  
 Pemilik : Yusca Alvantio P ( Universitas Jember)

No	Bahan	Massa Jenis (gr/ml)	Viskositas (dPa.s)
1	PET tanpa Katalis	0,795366	0,3
2	PP tanpa Katalis	0,76039	0,3
3	PP dengan Katalis	0,769464	0,4
4	PS	0,730924	0,2
5	LDPE	0,803352	0,1

Surabaya, 6 Nopember 2019  
 Kalab Fisika material



Sismanto, Drs., M.Si  
 NIP. 196405051989031003



**PT. PERTAMINA (PERSERO)**  
 Laboratorium TBBM Surabaya Group  
 Jalan Perak Barat No. 277 Surabaya -  
 60165 Telp : 031 - 3293886 Fax. 031 -  
 3294964

**ASLI**

**TEST REPORT**  
 No. 051 / LAB-ITS/ EXT / XI / 2019

<b>Jenis Sample</b> : H S D	<b>Pengambilan Sample</b> :-
<b>Nama Customer</b> : Fakultas Teknik Univ. Jember	<b>Jenis Pengambilan</b> :-
<b>Alamat</b> : Jl. Kalimantan No. 37 Kampus Tegalboto, Jember	<b>Tanggal Penerima</b> : 19 November 2019
<b>Customer Ex.</b> :-	<b>Tanggal Pengujian</b> : 19 November 2019
<b>No. Segel</b> :-	
<b>Nomor Surat</b> : 7422/UN25.11/EP/2019	
<b>Tanggal Surat</b> : 29 Oktober 2019	

No.	PARAMETER UJI	UNITS	METHODE	LIMITS *)	HASIL UJI				
					LDPE (KATALIS)	PS (KATALIS)	PET	PP	PP (KATALIS)
1	Flash point PMcc	°C	ASTM D-93	Min.52	**	**	**	**	**
2	Angka Oktan	RON	ASTM D-2699	Min.20	81*	75*	68*	75*	77*

Catatan / Kesimpulan :

**Hasil uji sample memenuhi Spesifikasi Dirjen Migas**

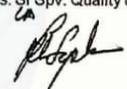
\*\*) Tidak Terbaca

\*) spesifikasi limits sesuai dengan SK Dirjen Migas No. 28. K/10/DJM.T/2016

Daftar Distribusi:

- Laboratorium TBBMSG (Asli)
- Pihak Internal (copy)
- Pihak Eksternal – bila diperlukan (Asli)

Surabaya, 19 November 2019  
 Laboratorium TBBMSG  
 Pjs. Sr Spv. Quality & Quantity

  
 SYFA ALMIRA

Test Report hanya berhubungan dengan sample yang diterima dan diperiksa di Laboratorium  
 Dilarang menggandakan Test Report ini tanpa persetujuan tertulis dari Pengawas Laboratorium  
 "Laboratorium P.T PERTAMINA(persero) TBBM Surabaya Group"

**B.1 Dokumen Penelitian**



Gambar B.1 Hasil arang pirolisis plastik PET



Gambar B.2 Hasil arang plastik PP



Gambar B3 Alat Pirolisis



Gambar B 4 Minyak Plastik PP



Gambar B5 Minyak Plastik PET



Gambar B6 Alat Uji Flash Point

Tabel B1 Spesifikasi Alat Uji Flash Point

No	Parameter spesiikasi	Spesifikasi
1	<i>Power supply</i>	AC (220 ± 10%) V, 50Hz
2	Perangkat pemanas	Kabel pemanasan disesuaikan dari 0W – 600W
3	Tingkat pemanas	(1–12)° C/menit; Dikontrol dan disesuaikan
4	Mengaduk tingkat	Prosedur yang: (90 – 120) RPM Prosedur B: (250 ± 10)RPM
5	Standar cangki minyak	Diameter dalam: 50.7mm – 50.8mm Kedalaman: 55.7mm – 56.0mm Yang scribe line kedalaman kapasitas pengujian minyak: 33.9mm – 34.3mm Kapasitas pengujian minyak: sekitar 70mm
6	Menyalakan perangkat	Menyalakan sumber: gas (atau lainnya sipil bawah bahan bakar yang sama di bawah ini) <i>Electric ignition</i> . Gas api diameter: 3.2mm–48mm
7	Termometer (Mercury kaca dalam kaca termometer)	Skala-5° C – 110° C divisi 0.5° C Skala 20° C – 150° C divisi 1° C Skala 90° C – 370° C divisi 2° C
8	Suhu lingkungan	Suhu lingkungan: ≤ 35°C
9	Kelembaban relatif	Kelembaban relatif: ≤ 85%
10	Konsumsi daya maksimum	Konsumsi daya maksimum: 650W