

TUGAS AKHIR

**PENGARUH HASIL PIROLISIS SAMPAH PLASTIK
JENIS PET (POLYETHYLENE TEREPHTHALATE)
DAN PS (POLYSTYRENE) TERHADAP NILAI
KALORI, VISKOSITAS DAN POUR POINT**

**Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Derajat Sarjana Strata 1 (S1) Teknik Lingkungan**



DISUSUN OLEH :

**KHAIDIR SYAIHAN ZULFIKAR MAYAU
13 513 146**

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA**

2017

TUGAS AKHIR

EFFECT OF PYROLYSIS PLASTIC WASTE PET (POLYETHYLENE TEREPHTHALATE) AND PS (POLYSTYRENE) ON CALORIFIC VALUE, VISCOSITY AND POUR POINT

**Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Derajat Sarjana Strata 1 (S1) Teknik Lingkungan**



DISUSUN OLEH :

**KHAIDIR SYAIHAN ZULFIKAR MAYAU
13 513 146**

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA**

2017

TUGAS AKHIR

PENGARUH HASIL PIROLISIS SAMPAH PLASTIK JENIS PET (POLYETHYLENE TEREPHTHALATE) DAN PS (POLYSTYRENE) TERHADAP NILAI KALORI, VISKOSITAS DAN POUR POINT

EFFECT OF PYROLYSIS PLASTIC WASTE PET (POLYETHYLENE TEREPHTHALATE) AND PS (POLYSTYRENE) ON CALORIFIC VALUE, VISCOSITY AND POUR POINT

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Derajat Sarjana Strata Satu (S1) Teknik Lingkungan



Disetujui,
Dosen Pembimbing:


Hijrah Purnama Putra, S.T., M.Eng.
Tanggal: 18/10 '2017


Yebi Yuriandala, S.T., M.Eng
Tanggal: 18/10/2017

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Lingkungan FTSR UII


Hudori, ST, MT
Tanggal:



LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

**PENGARUH HASIL PIROLISIS SAMPAH PLASTIK
JENIS PET (POLYETHYLENE TEREPHTHALATE)
DAN PS (POLYSTYRENE) TERHADAP NILAI
KALORI, VISKOSITAS DAN POUR POINT**

***EFFECT OF PYROLYSIS PLASTIC WASTE PET
(POLYETHYLENE TEREPHTHALATE) AND PS
(POLYSTYRENE) ON CALORIFIC VALUE, VISCOSITY AND
POUR POINT***

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Derajat Sarjana Strata Satu (S1) Teknik Lingkungan**



Disusun oleh :
Khaidir Syaihan Zulfikar Mayau
13.513.146

Disetujui,
Dosen Pembimbing:

Dosen Penguji 1

Hijrah Purnama Putra, S.T., M.Eng.

Tanggal: 18/10/2017

Dosen Penguji 2

Yebi Yuriandala, S.T., M.Eng

Tanggal: 16/10/2017

Dosen Penguji 3

Dr. Ir. Kasam. M.T.

Tanggal: 16/10/2017

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Indonesia maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, dengan pelaksanaannya berdasarkan bimbingan dari Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama penulis dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Program *software* komputer yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggungjawab saya, bukan tanggungjawab Universitas Islam Indonesia. *(apabila menggunakan software khusus)*
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, Oktober 2017

Yang membuat pernyataan,



Khaidir Syaihan Zulfikar Mayau

NIM: 13.513.146

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh,

Alhamdulillahirobbil'alamin Puji syukur kehadiran Allah 'Azza wa Jalla berkat rahmat, karunia dan kemurahan-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan tugas akhir *Pengaruh Hasil Pirolisis Sampah Plastik Jenis PET (Polyethylene Terephthalate) Dan Ps (Polystyrene) Terhadap Nilai Kalori, Viskositas Dan Pour Point* ini tepat pada waktunya.

Tugas akhir *Pengaruh Hasil Pirolisis Sampah Plastik Jenis PET (Polyethylene Terephthalate) Dan Ps (Polystyrene) Terhadap Nilai Kalori, Viskositas Dan Pour Point* ini diajukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh derajat Strata Satu (S1) Teknik Lingkungan. Dengan tugas akhir ini mahasiswa melakukan penelitian mengenai kualitas sampah plastik jenis PET dan PS serta, campuran keduanya sebagai Bahan Bakar Minyak dengan proses pirolisis untuk pengukuran Nilai Kalor, Viskositas dan Pour Point.

Selanjutnya penulis ingin menyampaikan rasa terimakasih yang tak terhingga kepada semua pihak yang membantu kelancaran dalam penyusunan tugas akhir ini baik berupa dorongan moril maupun materiil. Penulis yakin tanpa bantuan dan dukungan tersebut, sulit rasanya untuk menyelesaikan penyusunan tugas akhir ini.

Oleh karena itu, pada kesempatan ini penyusun mengucapkan terimakasih yang tak terhingga kepada:

1. Allah S.W.T yang tak henti-hentinya memberikan nikmat-Nya selama ini.
2. Ayahanda dan ibunda yang selalu memberikan dukungan penuh, mulai dari motivasi, inspirasi, doa yang tak terputus dan juga materil untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

3. Bapak Hudori, S.T., M.T. selaku Kepala Program Studi Teknik Lingkungan saat ini.
4. Bapak Hijrah Purnama Putra, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing 1 yang sudah memberikan masukan dan koreksi dalam menyelesaikan tulisan ini.
5. Bapak Yebi Yuriandala, S.T., M.Eng.. selaku dosen pembimbing 2 yang senantiasa memberikan masukan, koreksi dan tidak jarang juga memberikan motivasi sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.
6. Sidiq Arya, Hilda Ilmira, Resti dan Dian Hikmawan selaku tim Glagah Squad yang selalu rame dan paling suka check sound.
7. Irma Persita, Rama Kusuma, Lutfi Fajar Wijaya, Muhammad Rifai, Intan Mentaya, Putri Lehitu, dan Fera Fitriani yang selalu memberikan semangat, dukungan dan motivasi dalam keseharian penulis. Harapannya walau sudah pisah lama jangan saling lupa.
8. Seluruh para pengisi Wacana Grup yang suka wacana dalam mengadakan janji, semoga kita bisa menjaga hubungan dan komunikasi kita jika sudah LULUS nanti.
9. Rekan-rekan Teknik Lingkungan 2013
10. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu penyusunan tugas besar ini baik secara langsung maupun tidak langsung.

Akhirnya penulis berharap semoga amal baik dari semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan tugas akhir ini mendapatkan balasan pahala dari Allah S.W.T., semoga tugas akhir *Analisis Kemampuan Pengaruh Hasil Pirolisis Sampah Plastik Jenis PET (Polyethylene Terephthalate) Dan Ps (Polystyrene) Terhadap Nilai Kalori, Viskositas Dan Pour Point* bagi orang lain. *Aamiin ya Rabbal a'lam.*

Yogyakarta, 1 Oktober 2017

Penyusun

ABSTRAK

Kebutuhan energi yang terus meningkat dan ketersediaan bahan bakar yang menipis membuat manusia untuk mulai mencari sumber energi yang baru terutama Bahan Bakar Minyak (BBM). Dengan proses pirolisis jenis plastik PET (Polyethylene Terephthalate) dan PS (Polystyrene) dapat didekomposisi menjadi cairan sebagai alternatif bahan bakar terbarukan. Proses pirolisis dilakukan pada reaktor jenis semi batch dengan temperatur 500 °C selama 120 menit. Tujuan dalam penelitian ini adalah membandingkan karakteristik bahan baku sampah plastik dengan uji proksimat, mendapatkan perbandingan hasil pirolisis sampah plastik dan mendapatkan karakteristik cairan hasil proses pirolisis. Metode pengujian karakteristik cairan hasil pirolisis dalam penelitian ini adalah nilai kalor menggunakan bom kalorimeter, viskositas menggunakan spindler, pour point dan kuantitas minyak yang dihasilkan dari pirolisis sampah plastik PET, PS dan campuran. Hasil penelitian menunjukkan campuran PET 40 gram + Plastik PS 50 gram mendapatkan kuantitas paling banyak. hasil nilai kalor menunjukkan PS nilai kalornya lebih tinggi dari jenis plastik lain. Pengujian viskositas memperoleh plastik jenis PS 42,50 mm²/dt dan PET+PS 22,50 mm²/dt. Pengujian pour point diperoleh plastik jenis PET -8 °C, PS 11 °C dan PET+PS 46 °C.

Kata Kunci : Pirolisis, nilai kalor, viskositas, pourpoint, PET, PS

ABSTRACT

The energy demand needed and availability of fuel has decreased so that makes people start looking for new sources of energy, especially Fuel. Pyrolysis process plastic PET (Polyethylene Terephthalate) and PS (Polystyrene) can be decomposed into liquid as an alternative for waste to energy. The pyrolysis process was carried out on a semi-batch reactor with a temperature of 500 °C for 120 minutes. The purpose of this study is compare characteristics plastic raw materials with proximate test, the comparison of pyrolysis result of plastic waste and get of the characteristic liquid in pyrolysis process. Method of liquid characteristic of pyrolysis result is calory value using bomb calorimeter, viscosity using spindler, pour point and quantity of oil produced from pyrolysis of PET plastic waste, PS and mixture. The results showed a mixture of PET 40 gram + Plastic PS 50 gram to get the most quantity. The calory value results show that PS is higher than other types of plastics. Viscosity testing was obtained by type plastic PS 42,50 mm²/s and PET + PS 22,50 mm²/s. Pour point testing obtained plastic type PET -8 °C, PS 11 °C and PET + PS 46 °C.

Keywords: Pyrolysis, calory value, viscosity, pourpoint, PET, PS

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.1.1 Rumusan Masalah	2
1.1.2 Tujuan Penelitian.....	2
1.1.3 Ruang Lingkup	3
1.1.4 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TUJUAN PUSTAKA	4
2.1 Plastik.....	4
2.2 Pirolisis	6
2.3 Pirolisis Sampah Plastik	8
2.4 Nilai Kalor	10
2.5 Viskositas.....	11
2.6 <i>Pour Point</i>	12
BAB III METODE PENELITIAN	13
3.1 Kerangka Penelitian	13
3.2 Alat dan Bahan.....	14
3.2.1 Alat.....	14
3.2.2 Bahan	15
3.3 Pelaksanaan Penelitian.....	16
3.3.1 Persiapan Bahan Baku Plastik	16
3.3.2 Proses Pirolisis	17
3.3.2 Proses Pengujian Nilai Kalor	17

3.3.3 Proses Pengujian Viskositas	18
3.3.4 Proses Pengujian Pour Point	18
3.4 Analisis Data	19
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	20
4.1 Umum	20
4.2 Analisa Proksimat Bahan Baku	20
4.3 Proses pirolisis	23
4.4 Hasil Pirolisis Plastik PET (<i>Polyethylene Terephthalate</i>)	24
4.5 Hasil Pirolisis Plastik PS (<i>polystyrene</i>)	26
4.6 Hasil Pirolisis Plastik PET + PS	28
4.7 Hasil Uji Nilai Kalor	29
4.8 Hasil Uji Viskositas	30
4.9 Hasil Uji <i>Pour Point</i>	31
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	32
5.1 Kesimpulan	33
5.2 Saran	34
DAFTAR PUSTAKA	35

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Jenis plastik, kode, pemanfaatan, sifat dan pemakaian.....	5
Tabel 2. 2 Data temperatur transis dan temperatur lebur plastik	9
Tabel 4. 1 Perbandingan Hasil Nilai Kalor	30
Tabel 4. 2 Perbandingan Hasil Viskositas	31
Tabel 4. 3 Perbandingan Hasil Uji <i>Pour Point</i>	32

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Nomor Kode Jenis - jenis Plastik (UNEP,2009)	5
Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian	13
Gambar 3. 2 Reaktor Pirolisis	14
Gambar 3. 3 Plastik <i>Polyethylene Terephthalate</i>	15
Gambar 3. 4 Plastik <i>Polystyren</i>	15
Gambar 3. 5 Pencucian Plastik Jenis PET dan PS	16
Gambar 3. 6 Potongan PET dan PS	17
Gambar 4. 1 Grafik Perbandingan Uji Proksimat Plastik Jenis PET dan PS Dengan Penelitian Lainnya	21
Gambar 4. 2 Grafik perbandingan uji proksimat plastik PET, PS dan PET+PS...	23
Gambar 4. 3 Grafik Hasil Pirolisis PET	25
Gambar 4. 4 Cairan Hasil Pirolisis PET	26
Gambar 4. 5 Grafik Hasil pirolisis PS	26
Gambar 4. 6 Cairan Hasil Pirolisis PS	27
Gambar 4. 7 Grafik Hasil pirolisis PET+PS	28
Gambar 4. 8 Cairan pirolisis PET+PS	29

DAFTAR NOTASI

CH ₄	= Metana
CO ₂	= karbon dioksida
Cox	= Siklooksigenase
HDPE	= High Density Polyethylene
H ₂	= Hidrogen
LDPE	= Low Density Polyethylene
NO _x	= Nitrogen oksida
O ₂	= Oksigen
PET	= Polyethylene Terephthalate
PS	= Polystyrene
SO ₂	= Sulfur dioksida
TPA	= Tempat Pembuangan Akhir

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 :	Hasil Pengujian Proksimat Sampah Plastik
Lampiran 2 :	Tabel Uji Cairan Pirolisis
Lampiran 3 :	Keputusan Direktur Jenderal Minyak dan Gas No. 144496 K/14/DHM/2008
Lampiran 4 :	ASTM D-240
Lampiran 5 :	EN 590
Lampiran 6 :	ASTM D-97
Lampiran 7 :	Standar Baku Mutu (Speifikasi) Bahan Bakar Minyak Jenis Solar 48
Lampiran 8 :	Proses Pirolisi

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kelangkaan serta kenaikan harga bahan bakar telah menjadi masalah global, terutama di negara Indonesia. Di perkirakan masalah ini akan terus berlanjut selama beberapa tahun yang akan datang. Krisis energi telah menjadi perhatian bagi masyarakat umum dan tidak mungkin untuk diabaikan.

Peningkatan sampah di daerah khususnya perkotaan merupakan dampak dari perkembangan daerah perkotaan yang semakin padat dengan bertambah jumlah penduduk yang semakin meningkat. Hal ini mengakibatkan peningkatan jumlah sampah khususnya sampah plastik untuk keperluan rumah tangga. *Indonesian Solid Waste Association* (InSWA) menyatakan jumlah sampah plastik sebanyak 14% dari total produksi sampah di Indonesia (Antaraneews.com, 2014)

Masalah krisis energi yang saat ini sedang dihadapi berbagai negara merupakan salah satu masalah yang dihadapi juga di negara Indonesia yang merupakan salah satu negara pengkonsumsi bahan bakar fosil tertinggi, menurut Zuhra (2003) konsumsi minyak bumi pada tahun 2005 sekitar 1,6 juta/barel per hari, sedangkan pada tahun 2006 mencapai 1,84 barel per hari. Hal ini di bandingkan dengan negara – negara lain seperti Jerman dan Jepang pada tahun

yang sama hanya mengkonsumsi kurang dari 1 juta barel per hari. Pada tahun 2013, di Amerika Serikat diproduksi sekitar 30 juta ton total plastik setiap tahunnya, akan tetapi hanya sekitar 4% saja yang di daur ulang Sarker (2013). Dari hasil pembakaran fosil bukan hanya menghasilkan energi, menurut Damanhuri (2009) hasil pembakaran fosil juga menghasilkan gas – gas antara lain karbon dioksida (CO₂), nitrogen oksida (NO_x), dan sulfur dioksida (SO₂)

yang menyebabkan pencemaran udara. Sehingga hal ini perlu dilakukan upaya penelitian terhadap bahan bakar alternatif yang diharapkan bisa dipakai secara luas bagi masyarakat ramah lingkungan.

Dengan krisis permasalahan energi yang ada dan mengingat asal mula plastik adalah minyak bumi, maka sampah plastik ini dapat diubah menjadi bentuk

semula. Hal ini akan lebih bermanfaat di bandingkan dengan kebiasaan masyarakat yang selalu membakar sampah yang berdampak buruk bagi lingkungan dan kesehatan.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perbandingan jenis plastik PET (Polyethylene Terephthalate) dengan PS (Polystyrene) maka penelitian ini mengangkat judul **“Pengaruh Hasil Pirolisis Sampah Plastik Jenis PET (Polyethylene Terephthalate) dan PS (Polystyrene) Terhadap Nilai Kalori, Viskositas Dan Pour Point”**

1.1.1 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah :

1. Bagaimana karakteristik bahan baku sampah plastik jenis PET (Polyethylene Terephthalate), PS (Polystyrene) dan campuran PET+PS ?
2. Bagaimana hasil perbandingan pembakaran pirolisis terhadap jenis plastik PET, PS dan campuran PET+PS ?
3. Bagaimana karakteristik hasil pirolisis pada jenis plastik yang berbeda ?

1.1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Membandingkan karakteristik bahan baku sampah plastik jenis PET (Polyethylene Terephthalate) dengan PS (Polystyrene) serta, campuran PET+PS
2. Mendapatkan hasil perbandingan pirolisis terhadap jenis plastik PET, PS dan campuran PET+PS
3. Mendapatkan karakteristik cairan hasil proses pirolisis pada jenis plastik PET, PS dan campuran PET+PS

1.1.3 Ruang Lingkup

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dijabarkan maka batasan dalam penelitian ini adalah :

1. Penelitian ini merupakan pemanfaatan sampah plastik jenis PET (*Polyethylene Terephthalate*) dan PS (*Polystyrene*) menjadi produk bahan bakar alternatif.
2. Parameter yang akan diuji dari karakteristik cairan (*liquid*) dari sampah plastik yang meliputi parameter uji bahan baku serta, nilai kalor, viskositas dan pour point.
3. Pengujian dilakukan dengan mengkondisikan plastik jenis PET, PS dan campuran PET+PS senatural mungkin menyesuaikan dengan keadaan sebenarnya.
4. Pengujian dilakukan menggunakan simulasi skala laboratorium.

1.1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan gambaran mengenai potensi pengaplikasian produk pirolisis di masyarakat
2. Memberikan informasi mengenai hasil pirolisis dari jenis plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*), PS (*Polystyrene*) dan campuran PET+PS terhadap Nilai Kalori, Viskositas dan Pour Point.
3. Memanfaatkan sampah plastik jenis PET dan PS sebagai energi terbarukan untuk mengurangi timbulan sampah plastik.
4. Hasil penelitian diharapkan dapat digunakan sebagai dasar untuk mengembangkan strategi-strategi baru dalam pemanfaatan plastik sebagai energi terbarukan

BAB II

TUJUAN PUSTAKA

2.1 Plastik

Plastik adalah salah satu jenis makro molekul yang dibentuk berdasarkan proses polimerisasi. Plastik merupakan senyawa polimer yang unsur senyawa utamanya karbon dan hidrogen (Surono, 2016).

Menurut UNEP (2009) plastik dikelompokkan menjadi thermoplastik dan termosetting. Thermoplastik adalah bahan plastik yang jika dipanaskan pada temperatur tertentu akan kembali menjadi bentuk cair yang nantinya akan mudah untuk dibentuk, sedangkan termosetting adalah plastik yang apabila dipanaskan tidak dapat diubah kembali.

Dalam proses pengelolaan sampah plastik ada berbagai macam cara yang dapat dilakukan untuk proses pengelolaan sampahnya. Misal dengan menerapkan 3R yaitu *Reuse*, *Reduce* dan *Recycle*. *Reuse* adalah penggunaan kembali sampah plastik yang telah digunakan, *Reduce* adalah mengurangi penggunaan plastik dalam kegiatan sehari – hari dan *Recycle* adalah daur ulang sampah plastik menjadi suatu produk baru yang memiliki kualitas sama atau dibawah. Penerapan 3R ini akan sangat membantu dalam proses pengelolaan sampah plastik sehingga sampah jenis plastik yang akan dibawa ke Tempat Pemrosesan Akhir adalah residu yang sudah tidak dapat dimanfaatkan atau didaur ulang kembali.

Jenis – jenis plastik yang biasa diolah adalah Polyethylene (PE), Polystyrene (PS), Polyethylene Terephthalate (PET), dan polyvinyl chloride (PVC). Jika dilihat dari jenisnya yang ada sekarang ada 7 jenis plastik yang diberi kode angka 1 – 7 dengan kegunaan dan cara pemakainya yang berbeda juga.



Gambar 2. 1 Nomor Kode Jenis - jenis Plastik (UNEP,2009)

Tabel 2. 1 Jenis plastik, kode, pemanfaatan, sifat dan pemakaian

N0. Kode	Jenis Plastik	Pemanfaatan	Sifat	Pemakaian
1	<i>PET</i> (<i>Polyethylene Terephthalate</i>)	Botol air mineral, botol minyak goreng, botol sambal, botol obat dan Kosmetik (Kurniawan, 2012)	transparan dan lebih kuat	Sekali pakai
2	<i>HDPE</i> (<i>High Density Polyethylene</i>)	Botol obat, botol susu cair, jerigen pelumas dan botol kosmetik (Kurniawan, 2012)	Lebih kuat, keras, buram dan lebih tahan terhadap suhu tinggi	Sekali pakai
3	<i>PVC</i> (<i>Polyvinyl Chloride</i>)	Pipa selang air, pipa bangunan, mainan, taplak meja dari plastik, botolshampo dan botol sambal (Kurniawan, 2012)	Sulit didaur ulang dan tahan terhadap bahan kimia	hindari penggunaan pada makanan terutama panas
4	<i>LDPE</i> (<i>Low Density Polyethylen</i>)	Kantong kresek, tutup plastik, plastik pembungkus daging beku dan berbagai macam plastik tipis lainnya (Kurniawan, 2012)	Kuat, agak tembus cahaya, fleksibel dan permukaan agak berlemak	Dapat dipakai berulang
5	<i>PP</i> (<i>Polypropee</i>)	Tutup plastik, tutup botol plastik, mainan anak dan tutup margarin (Kurniawan, 2012)	Lebih kuat, ringan dengan daya tembus uap, tahan terhadap lemak, stabil terhadap suhu tinggidan cukup mengkilap	Dapat dipakai berulang
6	<i>PS</i> (<i>Polystyren</i>)	Kotak CD, sendok dan garpu plastik, gelas plastik, tempat makan dari styrofoam dan tempat makan plastik transparan (Kurniawan, 2012)	Lebih kuat, agak transparan(tergantung kegunaannya) dan bila dibakar akan mengeluarkan api kekuning kuningan	Dapat dipakai berulang dan hindari pemakaian pada makanan

N0. Kode	Jenis Plastik	Pemanfaatan	Sifat	Pemakaian
7	<i>Other (O)</i>	Botol susu bayi, plastik kemasan, galon air mineral, suku cadang mobil, alat - alat rumah tangga, komputer, alat-alat elektronik, sikat gigi dan mainan lego (Kurniawan, 2012)	Berbahan SAN (Styrene Acrylonitrile). ABS (acrylonitrile butadiene styrene, PC (Polycarbonate, Nylon.)	Dapat dipakai berulang

2.2 Pirolisis

Pirolisis adalah proses dekomposisi suatu bahan pada suhu tinggi tanpa adanya udara atau dengan udara minim. Proses dekomposisi ini juga sering disebut dengan devolatilisasi. Menurut Blasi (2008) pirolisis didefinisikan sebagai degradasi termal dari bahan bakar padat pada kondisi udara/oksigen terbatas, dimana proses ini menghasilkan tar dan char.

Proses pirolisis menghasilkan produk berupa bahan bakar padat yaitu karbon, cairan berupa campuran tar dan beberapa zat lainnya. Produk lain adalah gas berupa karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4) dan beberapa gas. Hasil pirolisis berupa tiga jenis produk yaitu padatan (*charcoal*/arang). Gas (*fuel gas*) dan cairan (*bio-oil*). Umumnya proses pirolisis berlangsung pada suhu di atas 300°C dalam waktu 4-7 jam. Namun keadaan ini sangat bergantung pada bahan baku dan cara pembuatannya. Temperatur pirolisis untuk mereduksi sampah dicapai secara optimal.

Keuntungan dalam penggunaan proses pirolisis adalah produk – produknya yang memiliki kandungan energi yang tinggi, seperti berwujud padatan (char), berwujud cairan (tar), dan gas. Dalam proses pirolisis, perbandingan prosesntasi ketiga produk tersebut sangat bergantung pada beberapa kondisi pengoperasian diantaranya adalah besarnya laju pemanasan, temperatur akhir proses pirolisis, bahan yang digunakan pada bahan pirolisis, tekanan kerja dan ada tidaknya katalis.

Menurut Aprian dan Munawar (2012) faktor – faktor yang mempengaruhi dalam proses reaksi pirolisis adalah sebagai berikut :

- a) Temperatur. Temperatur reaksi berpengaruh pada produk yang dihasilkan. Sesuai dengan persamaan Arrhenius, suhu semakin tinggi maka nilai konstanta pada dekomposisi termal semakin besar yang akan menyebabkan laju pirolisis bertambah dan konversi naik
- b) Ukuran partikel. Ukuran partikel mempengaruhi produk yang dihasilkan. Jika semakin kecil ukuran partikel, maka luas permukaan per satuan masa semakin besar, sehingga menyebabkan proses reaksi akan semakin cepat.
- c) Massa partikel. Semakin banyak bahan baku yang dimasukkan kedalam reaktor, akan mempengaruhi banyaknya hasil bahan bakar cair dan berpengaruh pada meningkatnya arang
- d) Pengadukan. Tumbukan yang terjadi antar reaksi akan bertambah banyak jika kecepatan pengadukan semakin besar, sehingga menyebabkan kecepatan reaksi bertambah besar
- e) Waktu. Semakin lama waktu reaksi akan semakin banyak hasil yang diperoleh. Hal ini disebabkan semakin terpuhinya waktu untuk bertumbukan antara zat – zat pereaksi.

Beberapa penelitian yang dilakukan terkait dengan proses pirolisis sampah kota *Municipal Solid Wastes* (MSW) antara lain, pirolisis pada 12 kg MSW yang dilakukan pada temperatur 400 – 650 °C selama 4 jam menghasilkan 52,2% tas, 25,2% char dan 22,6% gas (Ojolo, 2005).

Suryo (2011) dalam penelitiannya tentang sifat minyak pirolisis campuran sampah biomassa dan sampah plastik *polypropylene* (PP). Di dalam penelitian ini diteliti mengenai massa jenis, viskositas dan nilai kalor. Selanjutnya, minyak hasil pirolisis dimanfaatkan untuk memasak air dengan menggunakan kompor. Efisiensi kompor berbahan minyak pirolisis diuji dengan menggunakan metode standar *water boiling test* (wbt). Berdasarkan hasil penelitian ini diperoleh hasil efisiensi kompor berbahan bakar minyak yang terbaik pada komposisi 30% biomassa : 70% plastik pada temperatur 400 °C yaitu sebesar 24%.

Dalam proses pirolisis reaktor yang digunakan mempengaruhi hasil kualitas dan kuantitas produk yang dihasilkan. Reaktor pirolisis dikategorikan menjadi batch, semi batch dan reaktor kontinyu. Reaktor batch merupakan reaktor yang jika sudah dimulai proses pirolisis tidak dapat ditambahkan lagi bahan baku atau bahan pendukung proses pirolisis, reaktor semi batch merupakan reaktor yang jika sudah dimulai proses pirolisis masih dapat ditambahkan bahan lain minyaknya katalis dan reaktor kontinyu merupakan reaktor yang hasil produk pirolisis masih dipirolisis hingga mendapatkan kualitas produk yang lebih baik (Gao, 2010)

2.3 Pirolisis Sampah Plastik

Pirolisis sampah plastik termasuk dalam pemanfaatan sampah untuk dijadikan energi alternatif atau biasa dikenal sebagai *energy recovery*. Sampah plastik saat ini banyak diteliti untuk dijadikan alternatif bahan bakar terutama sebagai bahan bakar minyak. Konversi sampah plastik menjadi bahan bakar minyak disebut sebagai proses perkahan. Konversi plastik menjadi bahan bakar minyak ini dapat dilakukan karena salah satu bahan baku untuk membuat plastik adalah *Naphta* yaitu hasil penyulingan minyak bumi dan gas alam (Surono, 2016).

Sifat thermal berbagai jenis plastik sangat berpengaruh dalam proses pembuatan dan daur ulang plastik. Sifat – sifat thermal tersebut adalah titik lebur, temperatur transisi dan temperatur dekomposisi. Temperatur transisi adalah temperatur saat plastik mengalami perengganan struktur sehingga terjadi perubahan dari kondisi kaku menjadi lebih fleksibel. Titik lebur adalah saat plastik mengalami pembesaran volume sehingga molekul bergerak lebih bebas dapat ditandai saat peningkatan kelenturan. Temperatur lebur adalah temperatur dimana plastik mulai melunak dan berubah menjadi cair. Temperatur dekomposisi merupakan batasan dari proses pencairan. Pada keadaan suhu dinaikan diatas temperatur lebur plastik akan lebih mudah mengalir dan struktur akan mengalami dekomposisi. Dekomposisi dapat terjadi ketika energi thermal melampaui energi yang mengikat rantai molekul. Secara umum polimer akan mengalami dekomposisi pada suhu diatas 1,5 kali dari temperatur transisinya (Budiyanoro,

2010). Berikut ini adalah data sifat termal yang penting dalam proses daur ulang dapat dilihat pada tabel 2.2

Tabel 2. 2 Data temperatur transisi dan temperatur lebur plastik

No.	Jenis Bahan	Titik lebur	Temperatur dekomposisi	Temperatur kerja maks.
1	PP	168	5	80
2	HDPE	134	-110	82
3	LDPE	330	-115	260
4	PA	260	50	100
5	PET	250	70	100
6	ABS		110	85
7	PS		90	70
8	PMMA		100	85
9	PC		150	246
10	PVC		90	71

Sumber : Budiyanoro, 2010

Banyak penelitian yang telah dilakukan dan membahas tentang pengolahan sampah plastik menjadi bahan bakar minyak. Tamilkolundu dan Murugesan (2012) telah melakukan penelitian dengan mengubah sampah plastik jenis PVC menjadi bahan bakar minyak. Hasil yang didapatkan dalam penelitian tersebut adalah densitas 7% lebih tinggi dari solar. Viskositas lebih tinggi 300% dibanding solar. Hasil minyak yang didapatkan kemudian dicampur dengan solar. Campuran tersebut diujikan pada mesin diesel satu silinder. Dilakukan pengamatan pada konsumsi bahan bakar, konsumsi bahan bakar spesifik dan efisiensi termal. Solar kemudian dicampur dengan minyak dari plastik yang menghasilkan konsumsi bahan bakar yang lebih rendah dan efisiensi termal yang lebih tinggi.

Pada penelitian lain yang dilakukan oleh Tubnonghee, dkk (2010) jenis plastik yang digunakan PE dan PP. Proses yang digunakan adalah metode thermal cracking (pirolisis). Pirolisis dilakukan pada suhu 450 °C selama 2 jam. Gas yang terbentuk kemudian dikondensasi menjadi minyak didalam kondensor yang bertemperatur 21 °C. Minyak yang dihasilkan kemudian dianalisa dengan *mass Spectrometry* untuk mengetahui distribusi jumlah atom karbonnya. Berdasarkan

hasil analisa didapatkan bahwa komposisi minyak dari campuran plastik PE dan PP tersebut mempunyai jumlah atom carbon yang setara dengan solar, yaitu C12 – C17.

2.4 Nilai Kalor

Kalor adalah energi yang berpindah melintasi batas suatu sistem yang disebabkan oleh perbedaan temperatur antara suatu sistem dan lingkungan. Nilai kalor bahan bakar dapat diketahui dengan menggunakan kalorimeter. Nilai kalor dalam proses pengujian menggunakan kumparan kawat yang dialiri arus listrik dalam bilik yang disebut bom dan dibenamkan didalam air. Bahan bakar akan berinteraksi dengan oksigen menghasilkan kalor, hal tersebut menyebabkan suhu kalorimeter naik. Agar menjaga suhu panas yang telah dihasilkan dari reaksi bahan bakar dengan oksigen tidak menyebar ke lingkungan maka kalorimeter dilapisi oleh bahan yang bersifat isolator

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Sapriyanto (2011) telah melakukan pengujian terhadap mesin yang mengubah sampah plastik menjadi BBM. Pengujian yang dilakukan menggunakan 1 kg plastik dengan suhu 530⁰C. Plastik yang digunakan di-*mix* dengan pecampuran semua jenis plastik. Dalam waktu 2 jam menghasilkan bahan bakar cair 300 ml. Dilakukan pengujian dengan mendapatkan hasil nilai kalor sebesar 10.519 kal/g atau setara 44.040,95 J/g. Nilai kalor tersebut setara dengan nilai kalor premium yaitu 10.285 kal/g atau 43061,24 J/g. Dalam penelitian Ramadhan (2011) melakukan penelitian yang sama dengan menggunakan 2 jenis plastik *High Density Polyethylene* (HDPE) dan *Low Density Polyethylene* (LDPE) sebagai bahan baku. Menggunakan reaktor dengan diameter 20 cm dan tinggi 40 cm. Pirolisis dilangsungkan pada temperatur 250 – 420 ⁰C dan waktu reaksi selama 0 – 60 menit. Minyak yang dihasilkan memiliki kualitas yang setara dengan minyak tanah. Minyak jenis ini merupakan sumber dari bahan kimia yang berharga misalnya alkohol, asam organik, eter, keton, alipatik dan hidroharbon aromatik serta gas yang dihasilkan dari minyak ini menurut Damanhuri (2009) adalah CO_x, NO_x, H₂ dan Alkana

2.5 Viskositas

Viskositas adalah ukuran suatu kekentalan fluida dalam menunjukkan besar kecilnya gesekan internal (Pudiastuti dan Pratiwi, 2013). Semakin tinggi viskositas cairan maka semakin sulit cairan tersebut untuk bergerak mengalir begitupun sebaliknya. Semakin rendah viskositas suatu fluida, semakin besar juga pergerakan dari fluida tersebut dan semakin tinggi suhu cairannya semakin kecil viskositasnya begitu pula sebaliknya. Bahan bakar minyak yang baik adalah bahan bakar yang memiliki viskositas rendah agar cairan (liquid) dapat mengalir dan tidak terhambat ketika melalui celah – celah misalnya, mesin.

Faktor – faktor yang mempengaruhi koefisien Viskositas. Koefisien Viskositas zat cair dan gas dipengaruhi oleh banyak faktor. Adapun faktor – faktor yang mempengaruhi menurut Rangkuti (2010) adalah

1. Tekanan
2. Temperatur
3. Ukuran dan berat molekul
4. Bentuk molekul
5. Kekuatan molekul

Fluida yang mengalir melalui sebuah pipa dapat dipandang terdiri dari lapisan – lapisan tipis zat alir yang bergerak dengan laju berbeda – beda sebagai akibat adanya gaya kohesi maupun adhesi. Gesekan internal di dalam fluida dinyatakan dengan besaran viskositas atau kekentalan dengan satuan poise. Viskositas dapat diketahui dengan membandingkan satu fluida yaitu minyak hasil pirolisis dengan fluida lain yaitu air.

Endang, dkk (2016) dalam penelitiannya yang melakukan proses pirolisis sampah plastik jenis LDPE dan PP. Proses pirolisis menggunakan pasir silika untuk mempertahankan panas dan zeolit sebagai katalis. Hasil yang didapatkan viskositas minyak pirolisis lebih besar dibandingkan 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 (Ademiluyi, 2007). Nilai viskositas minyak pirolisis sampah plastik yang paling mendekati nilai viskositas bensin adalah hasil pirolisis PP pada suhu 350 °C sebesar 0,6 cP dan LDPE pada suhu 300 °C sebesar 0,62 cP.

2.6 *Pour Point*

Pour point adalah suhu terendah dimana suatu fraksi dapat mengalir atau dituangkan. Menurut Chieh (2012) *Pour Point* yaitu suhu dimana bahan bakar tidak dapat lagi dituangkan atau mengalir karena pembentukan gel. Minyak mengalami perubahan temperatur agar dapat mengetahui atau mengantisipasi dan mengambil tindakan yang terbaik agar minyak dapat ditranspotasikan secara lancar dari formasi ke permukaan sesuai dengan kebutuhan pendapat ini dikuatkan oleh Peng (2014) yang menyatakan *pour point* biasanya menjadi salah satu aspek penting yang perlu dikembangkan diberbagai wilayah lingkungan. Untuk mengatasi hal tersebut di atas, kita dapat mengambil sampel minyak formasi dan mengadakan uji coba untuk mengetahui titik kabut, titik beku, dan titik tuang minyak tersebut. Sifat hampir semua minyak adalah membeku menjadi semi fluida atau massa solid yang sukar bergerak pada saat mengalami penurunan temperatur. Besarnya *pour point* berbeda – beda untuk setiap tipe minyak tergantung pada komposisi zat yang dikandungnya.

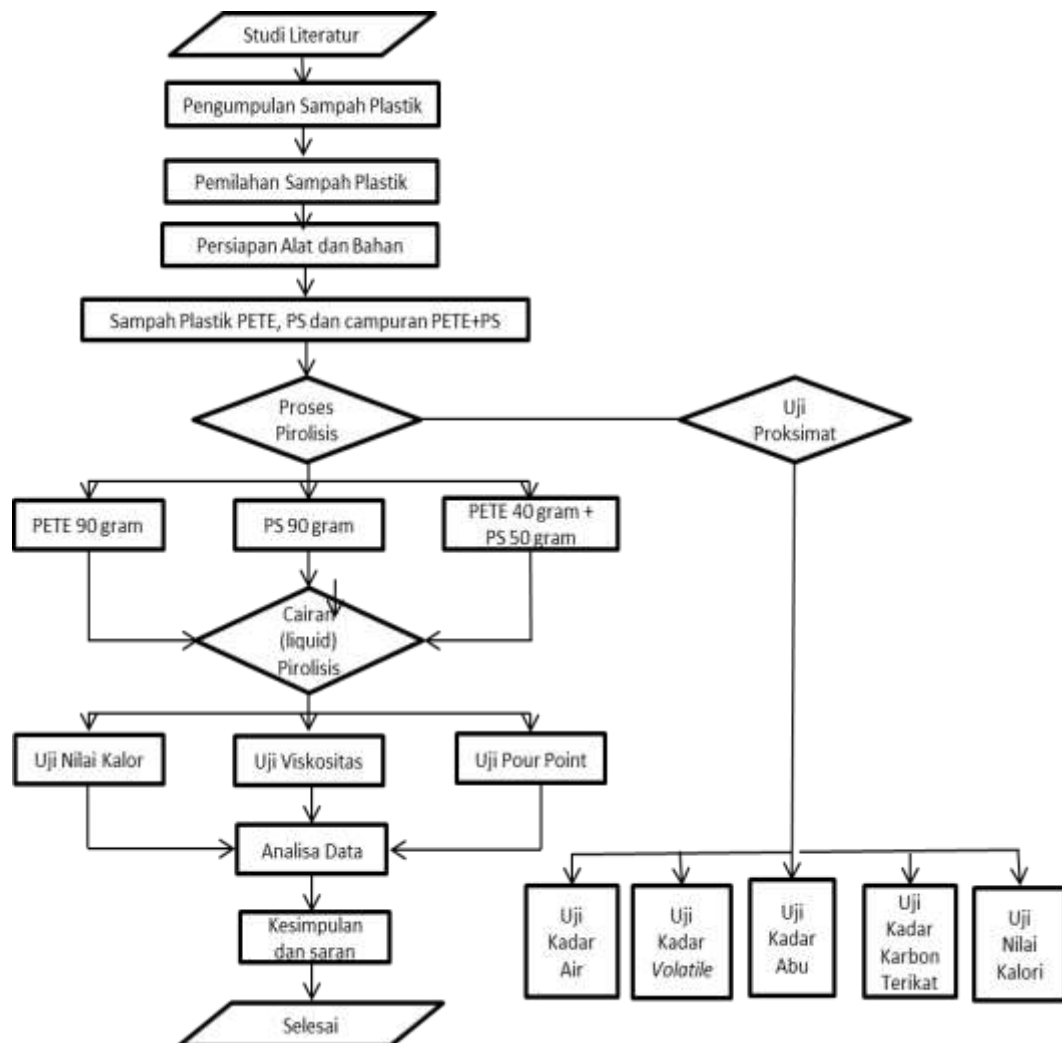
Menurut Syamsiro (2015) bahan bakar minyak plastik memiliki titik tuang yang lebih tinggi dibandingkan dengan solar. Keberadaan minyak berat ataupun gel/wax dapat meningkatkan titik tuang minyak plastik. Hal ini dapat menjadi masalah ketika bahan bakar minyak plastik digunakan didaerah yang memiliki temperatur yang rendah/dingin dikarenakan akan terjadi pembekuan pada bahan bakar. Untuk mencegah hal tersebut dapat dilakukan pemrosesan lebih lanjut yaitu dengan perlakuan distilasi untuk memisahkan gel/wax sehingga nilai titik tuang dapat diturunkan hingga mendekati spesifikasi yang ada.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Kerangka Penelitian

Tahapan dalam penelitian ini dimulai dari studi literatur hingga penyusunan Laporan Tugas Akhir, dapat dilihat pada gambar 3.1. Kerangka Penelitian dibawah ini:



Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan Bahan dalam penelitian ini, sebagai berikut :

3.2.1 Alat

1. Reaktor Pirolisis

Reaktor pirolisis adalah alat untuk mendekomposisi sampah plastik. Dengan spesifikasi alat :

Tinggi	: 50 cm
Diameter <i>retort</i>	: 15,6 cm
Diameter luar	: 25 cm
Daya listrik	: 1.200 watt
Kawat Nikelin	
Isolator	
Pipa gas	
Kondensor	



Gambar 3. 2 Reaktor Pirolisis

2. Gunting
3. 2 Gelas Beker
4. Gelas ukur 25 ml, 10 ml dan 5 ml
5. Timbangan
6. 3 Wadah untuk menampung dan menyimpan cairan (*Liquid*)

3.2.2 Bahan

a) Plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) 90 gram

Plastik PET merupakan plastik yang sering digunakan untuk botol plastik. Plastik jenis ini biasanya jernih/transparan/tembus pandang seperti contoh botol air mineral dan lain – lain. PET yang terbuat dari *glikon* (EG) dan *terephthalic acid* (TPA) Menurut Mujiarto (2005) karakteristik dari PET memiliki kombinasi : kekuatannya tinggi, kaku, dimensinya stabil, tahan terhadap bahan kimia dan panas, serta mempunyai sifat elektrik yang baik. PET memiliki daya serap uap air yang rendah dan daya serap terhadap air.



Gambar 3. 3 Plastik *Polyethylene Terephthalate*

b) Plastik PS (*Polystyrene*) 90 gram

Plastik PS merupakan plastik yang sering digunakan sebagai bahan tempat makan, tempat minum sekali pakai dan lain – lain. Menurut Mujiarto (2005) PS merupakan hasil dari polimerisasi monomer – monomer stirena ; Monomer stirena-nya sendiri dari hasil proses dehidrogenasi dari etil benzena dengan bantuan katalis. PS memiliki karakteristik sebagai berikut : memiliki sifat mekanis, tahan terhadap bahan kimia, kekuatan terhadap permukaan relatif lebih keras, transparan, daya serap uap-nya rendah dan tahan terhadap panas.



Gambar 3. 4 Plastik *Polystyrene*

- c) Campuran Plastik PET 40 gram + Plastik PS 50 gram

Pencampuran ke-dua tipe plastik ini bertujuan agar persentase cairan yang didapatkan saat proses pirolisis lebih tinggi. Pembagian pencampuran kuantitas bahan baku lebih banyak plastik jenis PS hal ini dikarenakan menurut Susilo (2014) semakin banyak jenis plastik PS maka persentase cairan yang dihasilkan akan semakin meningkat.

3.3 Pelaksanaan Penelitian

Dalam penelitian ini dibagi menjadi 3 pengujian eksperimen untuk mendapatkan ketiga hasil yang diinginkan, yaitu melakukan uji terhadap bahan baku, nilai kalor, viskositas dan *pour point*. Pengujian dilakukan di Laboratorium perpindahan panas dan masa (PAU) UGM.

3.3.1 Persiapan Bahan Baku Plastik

- a. Plastik PET dan PS dicuci bersih dan di keringkan di bawah sinar matahari agar hasil pengeringan bisa maksimal.



Gambar 3. 5 Pencucian Plastik Jenis PET dan PS

- b. Plastik PET dan PS di cacah dengan ukuran kurang lebih 2 – 4 cm. Hal ini agar ukuran plastik tersebut homogen/sama sehingga mempermudah dalam proses pirolisis.



Gambar 3. 6 Potongan PET dan PS

- c. Melakukan analisis proksimat sebelum melakukan proses pirolisis pada kedua bahan baku. Analisis proksimat ini dilakukan untuk mengetahui kualitas bahan baku yang akan di gunakan untuk pembuatan cairan.

3.3.2 Proses Pirolisis

- a. Membersihkan tabung pirolisis yang akan di gunakan sampai bersih.
- b. Setelah bersih memasukan bahan plastik yang akan di gunakan untuk pirolis kedalam tabung.
PET 90 gram ; PS 90 gram ; PET 40 gram + PS 50 gram
- c. Menutup tabung pirolisis dan di kunci sampai rapat agar tidak ada udara yang bisa masuk atau keluar
- d. Memasukan tabung pirolisis kedalam reaktor pirolisis.
- e. Menyalakan reaktor pirolisis dengan suhu 500 °C
- f. Mencatat kenaikan suhu setiap 1 menit sampai suhu mencapai 500 °C.
- g. Menampung hasil cairan yang keluar kedalam gelas wadah dengan mencatat banyaknya cairan yang keluar setiap 5 menit. Sampai tidak ada cairan yang keluar.
- h. Mencatat penurunan suhu per-satu menit sampai mencapai suhu ruang.

3.3.2 Proses Pengujian Nilai Kalor

- a. menyiapkan minyak hasil pirolisis yang telah ada.
- b. Menimbang Benang
- c. Menimbang Nikelin
- d. Memasukan semua bahan ke dalam bom kalori meter, lalu menutup rapat

- e. Bom kalorimeter dimasukan ke *chamber* (ruang pendingin) diberi 2 liter air sambiil direndamkan, kemudian ditutup
- f. Menghidupkan *mixer*
- g. Mencatat suhu air di chamber sebagai T1
- h. Menghidupkan tombol on selama 1 detik
- i. Mengamati perubahan suhu per 5 menit di dapat Tpuncak/T2
- j. Mendinginkan alat kemudian dibongkar
- k. Mencari nilai kalor dengan rumus :

$$\text{Kalori Total} = \Delta T \times \text{Kapasitas kalori alat } 2565,446 \text{ cal}^{\circ}\text{C} \dots\dots\dots (3.1)$$

$$\text{Kapasitas kalori terkoreksi} = \text{Kalori total} - \text{Kalori faktor terkoreksi} \dots (3.2)$$

$$\text{Nilai Kalor} = \frac{\text{Kapasitas Kalori Terkoreksi (Kal)}}{\text{Berat sampel (gram)}} \dots\dots\dots (3.3)$$

- l. Melakukan langkah kerja yang sama kepada 3 bahan tersebut.

3.3.3 Proses Pengujian Viskositas

- a. menyiapkan cairan hasil pirolisis yang telah ada.
- b. Mengkocok bahan yang telah di siapkan akan tercampur
- c. Memasukan bahan ke dalam gelas beker berukuran 50 ml
- d. Pasang jarum pengaduk ke alat viskosmeter (dalam percobaan ini menggunakan jarum LV-2)
- e. Menyetel alat viskosmeter dengan putaran 60 Rpm
- f. Menghidupkan alat viskosmeter selama 1 menit
- g. Setelah 1 menit mematikan alat dan tunggu sampai jarum yang berputar berhenti
- h. Mencatat aha
- i. Ulangi percobaan sebanyak 3 kali kepada seluruh bahan.

3.3.4 Proses Pengujian Pour Point

- a. Menyiapkan 3 bahan hasil Pirolisis
- b. Menimbang sampel
- c. Memasukkan sampel kedalam kolom stainless steel

- d. Menuang sampel ke dalam jar test hingga tingginya 2 – 2,5 inch sampai tanda level yang diminta
- e. Menutup jar test dengan gabus yang di lengkapi dengan termometer
- f. Memanaskan sampel dalam *jar test* (tanpa diaduk) hingga suhu 115 °F dalam *water bath* yang temperaturnya dikonstankan 118 °F
- g. Mendinginkan sampel dalam suhu kamar hingga 90 °F
- h. Memasukan jar test ke dalam jaket yang telah di taruh pada bak pendingin, dengan keadaan tempertur di pertahankan pada suhu 30–35 °F
- i. Pada temperatur 20 °F ke atas *pour point* mulai melakukan pembacaan dan dikerjakan setiap penurunan 5 °F hingga *pour point* terlihat/tercapai
- j. Apabila temperatur sampel sebesar 50 °F masih belum tercapai *pour point*-nya, maka *jar test* di pindahkan ke jaket bak pendingin 0 – 5 °F, perlakuan yang sama dilakukan apabila *pour point* belum mencapai suhu 20 °F, maka jar test di pindahkan ke bak pendingin -25 sampai -30 °F
- k. Mencatat hasil *pourpoint* yang di dapatkan dan ditambahkan 5 °F dan hasil tersebut adalah sebagai nilai *pour point*.
- l. Lakukan perlakuan yang sama pada ketiga sampel hasil pirolisis

3.4 Analisis Data

Perlakuan dalam penelitian ini adalah analisis kualitas hasil cairan dari jenis Plastik PET, PS dan campuran PET+PS dengan menguji nilai kalor, viskositas dan pour point.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

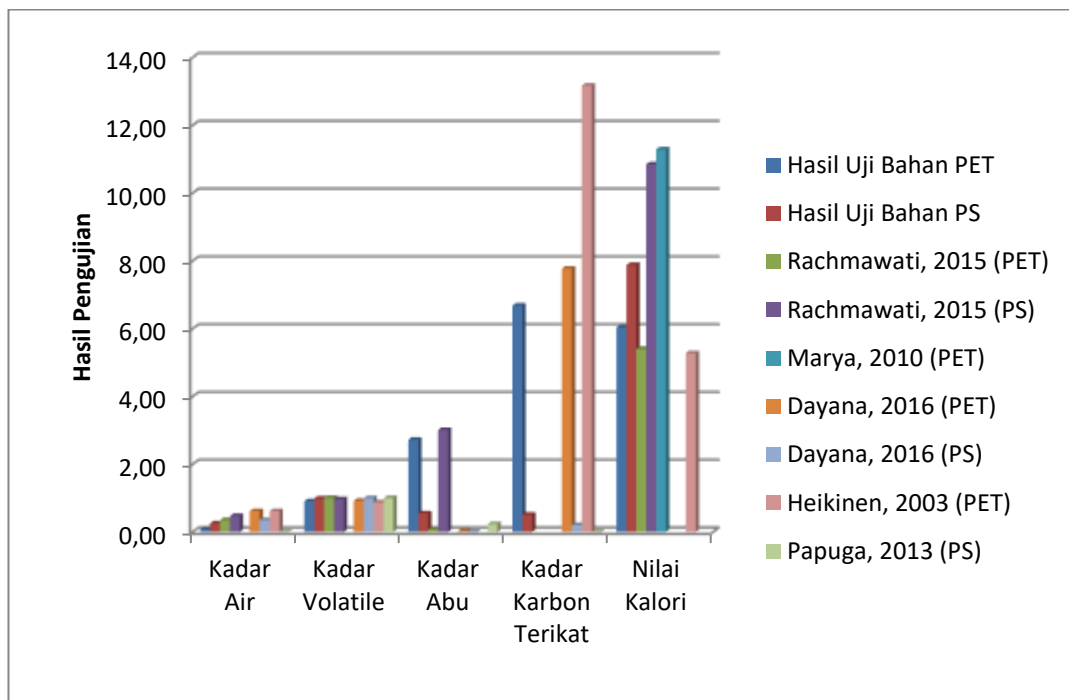
1.1 Umum

Bahan baku PET dan PS, serta campuran PET dan PS adalah polimer yang memiliki sifat dan karakteristik yang berbeda. Plastik PET dan PS yang digunakan merupakan sampah padat yang berada disekitar tempat peneliti. Plastik jenis PET dan PS di dapatkan di warung makan serta *market* terdekat di daerah Sleman D.I Yogyakarta.

Faktor yang paling penting dalam pembuatan cairan ini salah satunya adalah proses prolisis dengan suhu 500 °C, karena dengan suhu tersebut dekomposisi bahan plastik tanpa menggunakan katalis dapat berlangsung. Kualitas cairan yang akan diujikan ada 3 paremeter yaitu, nilai Kalor, viskositas dan *Pour Point*. Proses pirolisis ini akan dilakukan selama mungkin sampai cairan yang dihasilkan dari proses pirolisis habis. Selama pirolisis berlangsung kenaikan suhu akan dilihat perubahannya agar diketahui pada suhu berapa cairan yang diinginkan keluar/menetes, setelah cairan pertama keluar/menetes akan diukur banyaknya cairan yang dihasilkan setiap 5 menit sehingga dapat diketahui titik puncak cairan yang keluar/menetes. Sebelum dilakukan proses pirolisis terlebih dahulu dilakukan uji proksimat pada bahan baku plastik jenis PET dan PS.

1.2 Analisa Proksimat Bahan Baku

Untuk mengetahui kondisi awal bahan baku, terlebih dahulu dilakukan uji proksimat bahan baku untuk mengetahui kardar air, kardar *volatile*, kadar abu, kadar karbon terikat, nilai kalori. Berikut ini adalah hasil proksimat plastik jenis PET dan PS



Sumber : Rachmawati (2015), Marya D (2010), Dayana S (2016), Heikinen (2003) dan Papuga (2013)

Gambar 4. 1 Grafik Perbandingan Uji Proksimat Plastik Jenis PET dan PS Dengan Penelitian Lainnya

Dari gambar 4.1 dapat dilihat nilai kadar air yang didapatkan dari uji lab plastik jenis PET 0,08 % dan PS 0,25%. Jika dilihat dari hasil perbandingan nilai kadar air untuk plastik jenis PET dan PS hasil pengujian yang didapatkan peneliti sangat berbeda jauh dengan hasil penelitian sebelumnya karena hasil perbandingan yang didapatkan peneliti lebih kecil dari pada penelitian sebelumnya. semakin kecil kadar air maka hasil yang didapatkan akan semakin maksimal karna kadar air mempengaruhi efektifitas pembakaran dekomposisi pirolisis. Hal ini menunjukkan bahwa jenis plastik PET dan PS yang didapatkan peneliti lebih baik dari pada penelitian sebelumnya

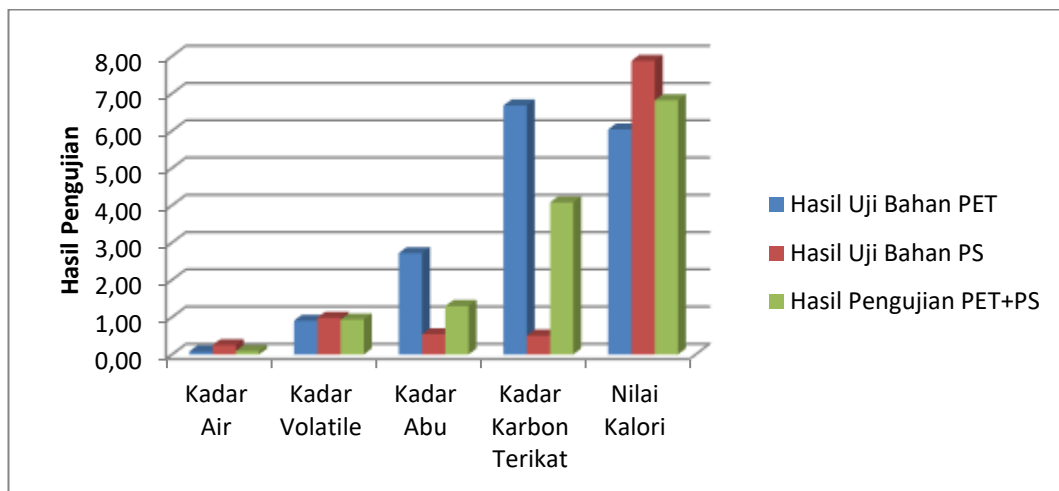
Nilai kadar *volatile* yang didapatkan dari uji lab plastik jenis PET 90,52 % dan PS 98,60%. Jika dilihat dari hasil perbandingan nilai kadar *volatile* pada penelitian sebelumnya hasil yang didapatkan peneliti tidak berbeda jauh berkisar pada *ranges* kurang lebih 90 %. Semakin tinggi kadar *volatile* yang didapatkan

pada bahan uji coba plastik maka akan semakin baik karna membantu dalam proses pembakaran diawal.

Nilai kadar abu yang didapatkan dari uji lab plastik jenis PET 2,72 % dan PS 0,64%. Hasil uji proksimat pada kadar abu plastik jenis PET ternyata lebih tinggi dari penelitian sebelumnya, hal ini menunjukkan bahwa kadar abu pada plastik jenis PET kurang efisien dalam proses dekomposisi pirolisis sedangkan plastik jenis PS tidak berbeda jauh dari penelitian sebelumnya. Semakin tinggi kadar abu akan mempengaruhi efisiensi pembakaran. Hal ini menunjukkan bahwa jenis plastik PET yang didapatkan peneliti lebih rendah kualitasnya dari pada penelitian sebelumnya.

Nilai kadar karbon terikat yang didapatkan dari uji lab plastik jenis PET 6,68 % dan PS 0,51% . Jika dilihat dari hasil penelitian sebelumnya nilai kadar karbon terikat plastik jenis PET dan PS yang didapatkan peneliti tidak berbeda jauh dengan penelitian sebelumnya. Semakin tinggi nilai kadar karbon terikat akan semakin baik karena kadar karbon terikat diperlukan untuk menghasilkan kalor.

Nilai kalor yang didapatkan dari uji lab plastik jenis PET 6034,93 kalori/gram dan PS 7876 kalori/gram . Jika dilihat dari hasil yang didapatkan peneliti dengan penelitian sebelumnya nilai kalor yang didapatkan peneliti berbeda jauh dengan penelitian sebelumnya. Semakin tinggi nilai kalor maka akan semakin baik dalam proses pembakaran. Hal ini menunjukkan bahwa plastik jenis PET yang didapat peneliti lebih baik nilai kalornya dari pada penelitian sebelumnya sedangkan plastik jenis PS lebih rendah kualitasnya dari penelitian lain.



Gambar 4. 2 Grafik perbandingan uji proksimat plastik PET, PS dan PET+PS

Berdasarkan hasil perbandingan uji proksimat pada gambar 4.2 didapatkan bahwa sampah plastik jenis PS lebih baik karna memiliki nilai kalor yang lebih tinggi dari pada sampah plastik jenis PET dan campuran PET+PS.

Uji proksimat yang dilakukan ini dengan tujuan untuk mengetahui banyaknya kadar air, kadar volatile, kadar abu, kadar karbon terikat yang mempengaruhi efisiensi nilai kalor selama proses pirolisis. Bahan sampah plastik selama proses pirolisis akan meningkatkan nilai kalori produk yang dihasilkan karna selama pirolisis berlangsung akan menghilangkan jumlah kadar air yang ada pada bahan baku sampah plastik. Hal ini didukung dengan pendapat Hasan (2017) yang melakukan pirolisis pada kulit durian untuk dijadikan briket. Hasan (2017) melakukan pirolisis untuk menghilangkan kadar air yang ada pada kulit durian sehingga dapat meningkatkan nilai kalor yang ada pada produk briket yang dihasilkan.

1.3 Proses pirolisis

Pirolisis dilakukan dengan menggunakan temperatur suhu 500 °C karena menurut Rachmawati (2015) plastik jenis PET memiliki titik leleh 250 °C - 260 °C dan dapat terdekomposisi pada suhu 480 °C sedangkan untuk plastik jenis PS memiliki titik leleh 180 °C - 260 °C dapat terdekomposisi pada suhu 420 °C.

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini merupakan metode eksperimental dimana metodenya terdiri dari beberapa tahapan yaitu, tahap pertama adalah persiapan bahan baku yang menggunakan bahan baku plastik jenis PET dan PS. Sampah plastik jenis PET **ini merupakan sampah plastik berupa botol minum sekali pakai dan untuk sampah plastik jenis PS** menggunakan sampah plastik styrofoam seperti bekas bungkus makanan. Setelah kedua jenis plastik ini terkumpul dilakukan pembersihan/pencucian, pengeringan dan pencacahan 2 – 4 cm².

Proses pirolisis sampah plastik untuk kedua jenis plastik dilakukan sebanyak 3 kali pirolisis. Setiap kali pirolisis dilakukan secara bergantian dengan perlakuan yang sama. selama pirolisis berlangsung reaktor yang berisi sampah plastik diamati kenaikan suhunya setiap 1 menit. Hal ini dilakukan untuk melihat pada menit dan suhu ke berapa cairan hasil pirolisis menetes untuk pertama kali. Setelah cairan pertama menetes amati banyaknya cairan yang dihasilkan setiap 5 menit untuk mengukur banyaknya cairan yang di hasilkan pada waktu optimum dengan suhu 500 °C. Biarkan proses pirolisis berlangsung selama mungkin hingga tidak ada lagi cairan yang hasil pirolisis yang keluar. Setelah cairan hasil pirolisis tidak keluar matikan reaktor pirolisis dengan memperhatikan penurunan suhu setiap 1 menit.

Tahapan ke tiga adalah cairan hasil pirolisis dari ketiga hasil pirolisis tersebut di uji dengan parameter Nilai Kalor, Viskositas dan *Pour Point*.

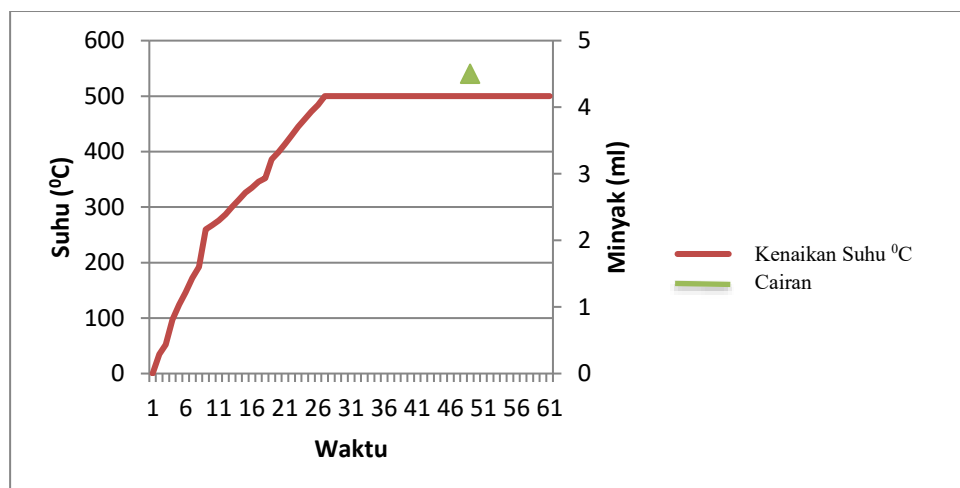
1.4 Hasil Pirolisis Plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*)

Hasil pirolisis sampah plastik jenis PET dengan temperatur 500 °C dan plastik sebanyak 90 gram didapatkan hasil cairan sebanyak 4,5 ml pada menit ke 48. Setelah cairan pada menit 48 keluar dilakukan pengatan setiap 5 menit. Pada 5 menit selanjutnya cairan hasil pirolisis sudah tidak keluar lagi. Hal ini disebabkan adanya penyumbatan pada pipa kondensor oleh benzena dan antimo tiroksida yang membeku disuhu ruang pada bagian dalam pipa kondensor. Pada penelitian yang dilakukan oleh Utama (2015) dan Surono (2016) dengan menggunakan suhu

450 °C mengalami kejadian yang sama pada proses pirolisis plastik jenis PET. Benzena adalah salah satu komponen dalam minyak bumi dan mudah terbakar sedangkan antimoni tiroksida adalah senyawa putih perak semi logam yang juga digunakan untuk mikroelektronik dan bahan tahan api (Utama, 2015). Akibat penyumbatan ini cairan yang harusnya dapat keluar melalui pipa kondensor akhirnya keluar pada bagian penyambung antara reaktor dan pipa kondensor.

Dapat disimpulkan bahwa sampah plastik jenis PET ketika mengalami proses pirolisis dapat menghasilkan cairan akan tetapi dikarenakan reaktor yang tidak sesuai untuk pirolisis plastik jenis PET sehingga cairan tidak dapat dihasilkan. Untuk pirolisis plastik PET diperlukan reaktor yang lebih besar dan pipa kondensor yang lebih besar agar benzena yang dihasilkan oleh proses pirolisis tersebut dapat mengalir keluar dari pipa kondensor sehingga memperbesar kemungkinan cairan hasil pirolisis dapat mengalir keluar.

Berdasarkan uji pirolisis plastik jenis PET ini hanya didapatkan hasil grafik kenaikan suhu. Berikut gambar 4.3 menunjukkan perbandingan hasil cairan yang dihasilkan :



Gambar 4. 3 Grafik Hasil Pirolisis PET

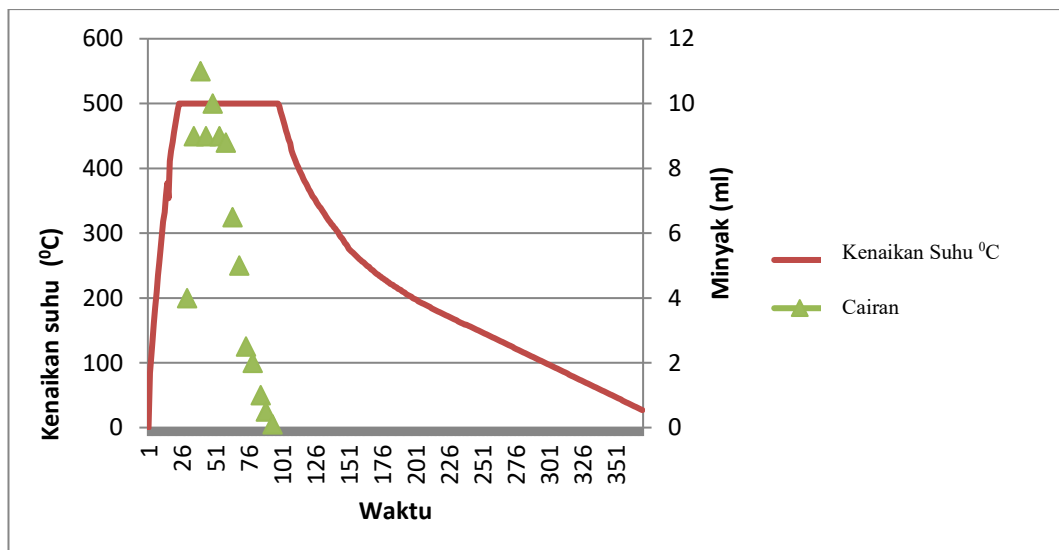
Cairan yang keluar dari sampah plastik jenis PET ini berupa cairan berwarna kuning, mengendap setelah beberapa menit dan berbau. Berikut gambar cairan hasil pirolisis PET :



Gambar 4. 4 Cairan Hasil Pirolisis PET

4.5 Hasil Pirolisis Plastik PS (*polystyrene*)

Hasil pirolisis sampah plastik jenis PS dengan temperatur suhu 500 °C dan plastik sebanyak 90 gram didapatkan hasil cairan sebanyak 78,4 ml. Grafik kenaikan suhu dan penurunan suhu dapat di lihat pada gambar 4.6 berikut :



Gambar 4. 5 Grafik Hasil pirolisis PS

Berdasarkan gambar 4.5 dapat dilihat pada menit ke 24 cairan hasil pirolisis mulai keluar pada suhu 500 °C. Saat cairan mulai keluar dilakukan pengamatan setiap 5 menit untuk mengukur banyaknya cairan yang dihasilkan. cairan yang keluar dari reaktor pirolisis mencapai titik puncak optimum cairan dihasilkan pada menit ke 39 dengan banyaknya cairan sebanyak 11 ml. Pirolisis berakhir pada menit ke 93 dengan menghasilkan cairan sebanyak 0,1 ml, setelah itu cairan sudah tidak menetes lagi atau keluar. Cairan yang keluar dari sampah plastik jenis PS ini berupa cairan berwarna hitam, memiliki banyak kotoran yang mengendap dan tidak berbau. Berikut gambar hasil cairan pirolisis PS :



Gambar 4. 6 Cairan Hasil Pirolisis PS

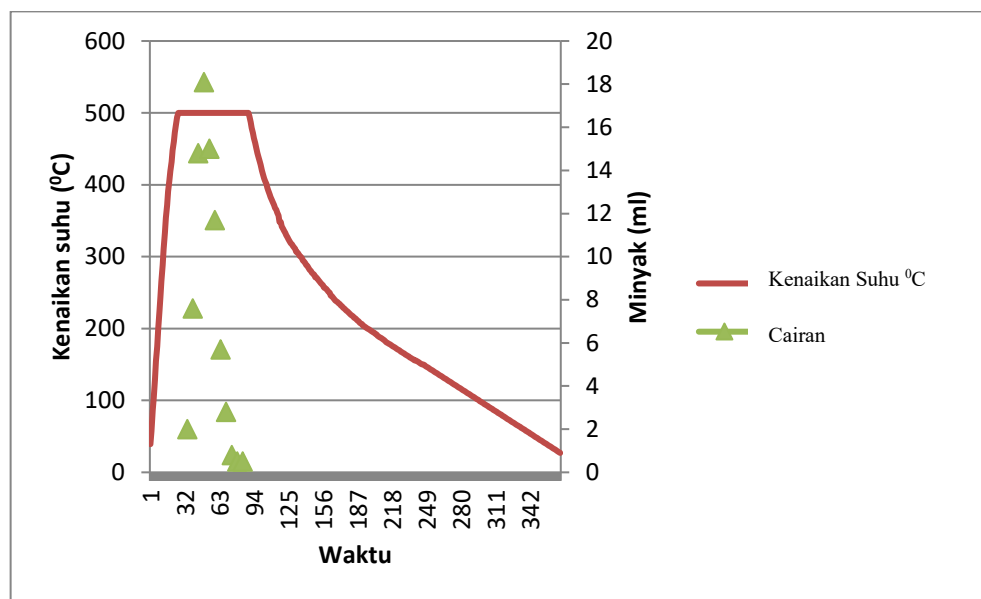
Setelah cairan hasil pirolisis sudah tidak keluar lagi maka proses pirolisis akan dihentikan dengan cara menurunkan suhu reaktor. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Gao (2010) plastik jenis PS menghasilkan kuantitas minyak lebih banyak dari pada jenis plastik yang lain.

Dalam penelitain Yuriandala, dkk (2016) melakukan pirolisis plastik jenis PS dengan suhu maksimal 450 °C dan menghasilkan cairan pada titik optimum sebanyak 20,6 gram *diranges* waktu menit ke-35 hingga menit ke-40 dengan suhu 406 °C – 435 °C dibandingkan dengan hasil pirolisis peneliti yang menggunakan suhu 500 °C, serta menggunakan tipe peralatan pirolisis yang sama. Menunjukan kenaikan suhu pada pirolisis sampah plastik PS memiliki pola yang tidak jauh

berbeda dan memiliki waktu optimum menghasilkan cairanya juga pada *ranges* waktu yang sama.

4.6 Hasil Pirolisis Plastik PET + PS

Hasil pirolisis sampah plastik jenis PET + PS dengan temperatur suhu 500 °C dan plastik sebanyak PET 40 gram + Plastik PS 50 gram didapatkan hasil cairan sebanyak 79,5 ml. Grafik kenaikan suhu dan penurunan suhu dapat di lihat pada gambar berikut :



Gambar 4. 7 Grafik Hasil pirolisis PET+PS

Berdasarkan gambar 4.7 dapat dilihat. Pada menit ke 29 cairan hasil pirolisis mulai keluar pada suhu 500 °C. Saat cairan mulai keluar dilakukan pengamtan per 5 menit untuk mengukur banyaknya cairan yang dihasilkan. Cairan yang keluar dari reaktor pirolisis mencapai titik puncak optimum cairan dihasilkan pada menit ke 49 dengan banyaknya cairan yang dihasilkan sebanyak 18,1 ml dan cairan yang paling sedikit dihasilkan pada menit ke 84 dengan menghasilkan cairan sebanyak 0,5 ml setelah itu cairan sudah tidak menetes lagi atau keluar. Minyak yang keluar dari sampah plastik jenis PET+PS ini berupa cairan berwarna

kuning dan memiliki endapan gel berwarna kuning yang mengendap. Berikut adalah gambar hasil pirolisis sampah plastik campuran PET+PS



Gambar 4. 8 Cairan pirolisis PET+PS

Setelah cairan hasil pirolisis sudah tidak keluar lagi maka proses pirolisis akan dihentikan dengan cara menurunkan suhu reaktor.

Dalam penelitian Yuriandala, dkk (2016) yang melakukan pirolisis dengan pencampuran 50 gram PS + 20 gram *other* (aluminium foil). Melakukan pirolisis dengan suhu maksimal 450 °C dan menghasilkan cairan pada titik optimum sebanyak 12,19 gram *diranges* waktu menit ke-35 hingga menit ke-40 dengan suhu 430 °C – 450 °C dibandingkan dengan hasil pirolisis peneliti yang menggunakan suhu 500 °C dan campuran PET + PS serta menggunakan tipe peralatan pirolisis yang sama. Menunjukan kenaikan suhu pada pirolisis sampah plastik PET + PS memiliki pola berbeda. Sampah plastik campuran PS + *other* lebih cepat mengalami kenaikan suhu dan memiliki waktu optimum menghasilkan cairanya juga pada *ranges* yang lebih cepat. Perbedaan ini disebabkan karna penggunaan *other* (aluminium foil) sebagai bahan baku karena aluminium terbuat dari bahan alumina (Sunarya, 2007). Alumina biasanya digunakan sebagai bahan katalis untuk mempercepat reaksi pada proses pirolisis.

4.7 Hasil Uji Nilai Kalor

Kalor merupakan energi yang disalurkan melintasi batas suatu sistem yang diakibatkan oleh perbedaan temperatur antara suatu sistem dan lingkungan sekitar. Nilai kalor merupakan bahan bakar yang dapat diketahui dengan menggunakan

kalorimeter. Nilai kalor bahan bakar minyak berdasarkan Keputusan Direktur Jenderal Minyak dan Gas No. 144496 K/14/DHM/2008 Tentang Standar dan Baku Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Minyak Jenis Minyak Bakar Yang Dipasarkan Di Dalam Negeri untuk nilai kalor Min. 41,87 MJ/Kg untuk batasan IFO-1 dan IFO-2 serta nilai kalor bahan bakar minyak berdasarkan ASTM D-240 sebesar minimal 41,87 MJ/Kg.

Tabel 4. 1 Perbandingan Hasil Nilai Kalor

Bahan	Hasil Uji (Kalori/gram)	kalori/gram TO Megajoule/kilogram	Dayana, 2016 (MJ/Kg)	Rehan, 2016 (MJ/Kg)	Standar Baku Mutu
PET	6695,21	28,03	28,2		41,87 MJ/Kg
PS	8436,83	34,89	43	41,1	
PET+PS	7307,21	30,59			

Sumber : Keputusan Direktur Jendral Minyak dan Gas Bumi Tahun 2008 dan ASTM D-240

Berdasarkan hasil yang didapatkan ketiga jenis sampah plastik yang dapat dilihat di tabel 4.1' belum memenuhi standar Keputusan Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi Tahun 2008. Pada umumnya suatu bahan bakar minyak memiliki nilai kalori 10.160 – 11.000. berdasarkan hasil temuan ini ketiga hasil cairan pirolisis ini belum bisa dikatan sebagai bahan bakar minyak.

4.8 Hasil Uji Viskositas

Berdasarkan Keputusan Direktur Jenderal Minyak dan Gas No. 144496 K/14/DHM/2008 Tentang Standar dan Baku Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Minyak Jenis Minyak Bakar Yang Dipasarkan Di Dalam Negeri viskositas maksimal untuk IFO-1 adalah 189 mm²/dt dan IFO-2 adalah 380 mm²/dt. Dari hasil perbandingan dapat disimpulkan bahwa sampah plastik jenis PS dan PET+PS memenuhi standar Berdasarkan Keputusan Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi Tahun 2008 dan untuk standar EN 590 dan standar baku mutu (spesifikasi) bahan bakar minyak jenis solar 48 vikositas cairan yang didapatkan tidak memenuhi standar.

Tabel 4. 2 Perbandingan Hasil Viskositas

Bahan	Satuan	Viskositas	Dayana 2016	Rehan 2016	Standar Baku Mutu
PS	mm ² /dt	42,5	1,4	1,8	Maks : 189 mm ² /dt
PS PET		22,5			

Sumber : Keputusan Direktur Jendral Minyak dan Gas Bumi Tahun 2008

Hasil pengujian viskositas dapat dilihat bahwa nilai viskositas sampah plastik jenis PS lebih tinggi nilainya dari pada jenis plastik yang di *mix*/campur. Hal ini dikarenakan cairan yang didapatkan dari kedua bahan tersebut masih berupa semi cair yang berpengaruh pada uji hasil viskositas. Semakin cair suatu cairan akan semakin baik viskositasnya.

Sampah jenis plastik PET sendiri tidak diujikan karna hasil dari pirolisis berupa gumpalan gel yang mengeras sehingga harus di cairkan dulu untuk diuji pada suhu 40-50 °C. Maka dari itu peneliti tidak melanjutkan pengujian viskositas untuk PET karna peneliti ingin mendapatkan hasil minyak yang dapat sesuai dengan keadaan lingkungan sekitar khususnya di Indonesia.

4.9 Hasil Uji *Pour Point*

Berdasarkan hasil pengujian yang telah di lakukan dengan metode ASTM D 97 di peroleh nilai *pour point* untuk sampah plastik jenis PET sebesar 46 °C berdasarkan nilai maksimum yang diperbolehkan untuk *pour point* adalah 18 °C ASTM D-97 dengan demikian jenis plastik PET tidak layak masuk sebagai spesifikasi menjadi minyak. Dalam peraturan Keputusan Direktur Jenderal Minyak dan Gas No. 144496 K/14/DHM/2008 Tentang Standar dan Baku Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Minyak Jenis Minyak Bakar Yang Dipasarkan Di Dalam Negeri batas maksimal untuk *pour point* IFO- 1 Maks 30 °C dan IFO – 2 Maks 40 °C. Berdasarkan keputusan ini cairan *Pour point* untuk plastik jenis PET tidak masuk dalam spesifikasi layak. Penyebabnya karena cairan yang di hasilkan mengandung banyak benzena dan antimoni trioksida sehingga cairannya mengeras dan hanya bisa berubah dalam bentuk cair pada suhu yang lebih tinggi.

Tabel 4. 3 Perbandingan Hasil Uji *Pour Point*

No	Bahan	<i>pour point</i>	Dayana, 2016	Rehan, 2016	Standar Baku Mutu
1	PS	-8	-67	-60	Maks : 30 - 40
2	PS dan PET	11			
3	PET	46			

Sumber : Keputusan Direktur Jendral Minyak dan Gas Bumi Tahun 2008 dan ASTM D-97

Sampah plastik jenis PS sebesar -8 °C berdasarkan nilai maksimum yang diperbolehkan untuk *pour point* adalah 18 °C dengan demikian sampah plastik jenis PS memenuhi standar ASTM D-97 dan dalam Keputusan Direktur Jenderal Minyak dan Gas No. 144496 K/14/DHM/2008 Tentang Standar dan Baku Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Minyak Jenis Minyak Bakar Yang Dipasarkan Di Dalam Negeri plastik jenis PS masuk dalam spesifikasi minyak dalam Negeri

Sampah plastik jenis PET+PS sebesar 11 °C berdasarkan nilai maksimum yang di perbolehkan untuk *pour point* adalah 18 °C dengan demikian sampah plastik jenis PET+PS memenuhi standar ASTM D dan dalam Keputusan Direktur Jenderal Minyak dan Gas No. 144496 K/14/DHM/2008 Tentang Standar dan Baku Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Minyak Jenis Minyak Bakar Yang Dipasarkan Di Dalam Negeri.

Dari hasil pengujian *Pour Point* dapat dilihat bahwa *Pour Point* sa plastik jenis PS lebih tinggi nilainya dari pada jenis PET dan PS+PET plastik yang di *mix*/campuran

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan :

- 1) Pengujian karakteristik bahan baku sampah plastik dari ketiga jenis sampah plastik menunjukkan plastik jenis PS memiliki kualitas yang lebih baik dari pada kedua bahan lainnya untuk dijadikan sebagai sumber bahan bakar.
- 2) Pirolisis sampah plastik jenis PET dan PS dengan temperatur 500 °C dan plastik sebanyak 90 gram mendapatkan banyaknya cairan untuk PET 4,5 ml dan untuk PS 78,4 ml sedangkan untuk PET + PS dengan campuran 40 gram PET dan PS 50 gram mendapatkan cairan 79,5 ml
- 3) Pengujian nilai kalor, viskositas dan *pour point* pada jenis plastik PET, PS dan PET+PS menunjukkan nilai kalor belum memenuhi standar baku mutu sedangkan untuk viskositas memenuhi baku mutu dan *pour point* PS dan PET+PS memenuhi standar baku mutu. Ketiga karakteristik tersebut dibandingkan dengan hasil Keputusan Direktur Jenderal Minyak dan Gas No. 144496 K/14/DHM/2008 Tentang Standar dan Baku Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Minyak Jenis Minyak Bakar Yang Dipasarkan, ASTM D 97, ASTM D-240, standar EN 590 dan standar baku mutu (spesifikasi) bahan bakar minyak jenis solar 48

5.2 Saran

Dari hasil penelitian ini dan melihat potensi sumber bahan baku dan permasalahan lingkungan yang ada, maka peneliti memberikan usulan dan saran untuk penelitian selanjutnya :

- 1) Perlu dilakukan pengkajian untuk proses pirolisis plastik jenis PET sebagai bahan baku pirolisis.
- 2) Untuk meningkatkan hasil dari minyak saat pirolisis dibutuhkan penambahan bahan katalis dalam proses pirolisis misalnya alumunium foil dan zeolit
- 3) Hasil minyak perlu dilanjutkan penelitiannya agar sesuai dengan baku mutu standar (SPESIFIKASI) minyak yang ada di Keputusan Direktur Jenderal Minyak dan Gas No. 144496 K/14/DHM/2008 Tentang Standar dan Baku Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Minyak Jenis Minyak Bakar Yang Dipasarkan, ASTM D 97, ASTM D-240, standar EN 590 dan standar baku mutu (spesifikasi) bahan bakar minyak jenis solar 48

DAFTAR PUSTAKA

- Ademiluyi, T. 2007. **Preliminary Evaluation of Fuel Oil Produced From Pyrolysis of Waste Sachets**. *International Journal Vol.11(3)* No. 127 - 131 University of Science and Technology. Nigeria.
- Antaranews.com. 2014. **Produksi Sampah Plastik Indonesia 5,4 Juta Ton Per Tahun**. <http://www.antaranews.com/berita/417287/produksi-sampah-plastik-indonesia-54-juta-ton-per-tahun>
- Aprian, R.P dan Munawar, A. 2012. **Pengolahan Sampah Plastik menjadi Minyak Menggunakan Proses Pirolisis**, *Envirotek: Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, Vol.4(1), Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, UPN Jatim.
- ASTM D-97. *Standard Test Method for Pourpoint of Petroleum Products*.
- ASTM D-240. *Standard Test Method for Heat of Combustion of Liquid Hydrocarbon Fuels By Bomb Calorimeter*.
- Blasi, D.C. 2008. **Modeling Chemical and Physical Processes of Wood and Biomass Pyrolysis**, *Progress in Energy and Combustion Science*, 34, pp. 47-99. *International Journal of Engineering and Technology Research*, Vol. 1, No. 1.
- Budiyantoro, C. 2010. **Thermoplastik dalam Industri**. *Jurnal Teknik Vol.3* No. 1. ISSN 2088 – 3676. Teknika Media, Surakarta
- Chieh, Y. S. 2011. **Selection of Prediction Methods for Thermophysical Properties for Process Modeling and Product Design of Biodiesel Manufacturing**. Thesis submitted to the faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University in partial fulfillment of the requirements for the degree of. Blacksburg
- Damanhuri, E. 2009. **Pengelolaan Bahan Berbahaya dan Beracun (B3)**. Modul Diklat Kuliah Pengelolaan B3 – Versi 2010. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Dayana, S, dkk. 2016. **A Review On Pyrolysis Of Plastic Wate**. *Intenational Journal Energy Conversion and Managenet* 115. 308 – 326. Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering,. University of Malaya. Kuala Lumpur, Malaysia.
- Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi, 2008. **Keputusan Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi**. Jakarta
- European Standard (EN) 590, 2009. **Automotive Fuels – Diesel – Requierements and Test Methods**
- Gao, F. 2010, **Pyrolysis of Waste Plastics into Fuels**.Universiy of Canterbury

- Heikkinen, J.M. dkk. 2003. **Thermogravimetry as a tool to classify waste components to be used for energy generation.** *Pyrolysis* 71, 883 - 900 section Energy Technology, Department of Mechanical Engineering and Marine Technology, Delft University of Technology, Mekelweg 2, NL 2628CD Delft, The Netherlands
- Hasan, E.S. dkk. 2017. **Analisis Proximate dan Nilai Kalori Briket (BROWN COAL – Kulit durian) Dengan Perekat Liquid Volatile Matter (LVM) yang di preparasi dengan Metode Pirolisis.** *Jurnal Aplikasi Fisika* Vol 13 No. 1. Jurusan Fisika. Fakultas Matematika dan Teknologi Kebumian. Universitas Halu Oleo. Kendari
- Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2016. **Keputusan Direktur Jendral Minyak dan Gas Bumi No. 28.K/10/DJM.T/2016.** Jakarta
- Kurniawan, A., 2012, **Mengenal Kode Kemasan Plastik yang Aman dan Tidak** <http://ngeblogging.wordpress.com/2012/06/14/mengenal-kodekemasan-plastik-yang-aman-dan-tidak/>,
- Marya, D. dkk. 2010. **Perhitungan Nilai Kalor Berdasarkan Komposisi dan Karakteristik Sampah Perkotaan di Indonesia Dalam Konsep Waste To Energy,** *Jurnal Teknik Lingkungan* Volume 16 Nomor 2, hal. 103-114. Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung. Bandung
- Mujiarto, I. 2005. **Sifat dan Karakteristik Material Plastik dan Bahan Aditif.** *Jurnal Traksi.* Vol. 3. No.2. Semarang.
- Mulyadi, E. 2004. **Termal Dekomposisi Sampah Plastik , Jurnal Rekayasa Perencanaan,** ISSN 1829-913x, Vol-1
- Mulyadi, E. 2010. **Kinetika Reaksi Katalitik Dekomposisi Gambut.** Semnas Hasil Penelitian Balitbang prov Jatim, ISBN 978-979-10-8
- Ojolo, S.J. and Bamgboye A.I. 2005. **Thermochemical Conversion of Municipal Solid Waste to Produce Fuel and Reduce Waste,** *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*, VII , Manuscript EE 05 006
- Papuga, S, dkk. 2013. **Preliminary Research Of Waste Biomass and Plastic Pyrolysis Process.** *Original Scienfic Papers Contemporary Materials, IV – Ipage 76 of 83.* University Of Banja Luka, Faculty of Technology. Republic of Srpska.
- Peng, Y., dkk., (2014). **Study on the Temperature Distribution of High Pour Point Oil by Integrated Method Based on Well Log, Geological Data and Experiment.** *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology* 7(23): 4945-4965.
- Rachmawati, Q dan Herumurt, W. 2015. **Pengolahan Sampah Secara Pirolisis Dengan Variasi Rasio Komposisi Sampah dan Jenis Plastik.** *Jurnal Teknik ITS* Vol. 4,

- No 1. Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya
- Ramadhan, A dan Munawar, A. 2011. **Pengolahan Sampah Plastik Menjadi Minyak Menggunakan Proses Pirolisis**. Universitas Pembangunan Nasional “Veteran”. *Jurnal Ilmia Teknik Lingkungan Vol.4* No.1.Jawa Timur.
- Rehan, M, dkk. 2016. **Effect Of Zeolite Catalysts on Pyrolysis Liquid Oil**. *International Journal Biodeterioration & Biodegradation* 119, 162 - 175 Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering, King Abdulaziz University, Jeddah. Saudi Arabia.
- Rangkuti, S.E. 2010. **Pengaruh Penambahan NaCl Terhadap Perubahan Viskositas Bahan Pencuci Tangan Cair (HAND SOAP)**, Skripsi. universitas sumatera utara.
- Sapriyanto, A. 2011. **Mesin Pengubah Sampah Plastik Menjadi Minyak**. Karya Tulis Ilmiah. PKMT PNJ. Depok.
- Sarker, M. dan Rashid, M. 2013. **Mixture of LDPE, PP and PS Waste Plastics into Fuel by Thermolysis Process**. *International Journal of Engineering and Technology Research Vol. 1*, No. 1, PP: 01-16, ISSN: 2327-0349
- Sarker, M. dan Rashid, M 2013. **Container Waste Plastic Conversion Into Fuel**. *International Journal of Engineering and Applied Sciences Vol. 3* No. 1
- Sunarya, Y dan Setiabudi, A. 2007. **Mudah dan Aktif Belajar Kimia**. PT. Setia Purna Inves.
- Surono, U.B. dkk. 2016. **Pengolahan Sampah Plastik Jenis PP, PET, dan PE Menjadi Bahan Bakar Minyak dan Karakteristiknya**. *Jurnal Mekanika dan Sistem Termal Vol 1* (1) No.32- 37. Jurusan Teknik Mesin. Fakultas Teknik. Universitas Janabadra. Mataram.
- Susilo, G. B. 2014. **Pembuatan Bahan Bakar Dari Pirolisis Limbah Plastic Dan Uji Performa Pada Motor Diesel Menggunakan Campuran Minyak Pirolisis Dengan Biosolar**. Tesis Program Studi Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada.
- Syamsiro, M. 2015. **Kajian Pengaruh Penggunaan Katalis Terhadap Kualitas Produk Minyak hasil Pirolisis Sampah Plastik**. *Jurnal Teknik Vol.5*. Jurusan Teknik Mesin. Fakultas Teknik. Universitas Janabadra.
- Tamilkolundu, S. dan Murugesan, C. 2012. **The Evaluation of blend of Waste Plastic Oil-Diesel fuel for use as alternate fuel for transportation**, 2nd International Conference on Chemical, Ecology and Environmental Sciences (ICCEES'2012) Singapore April 28-29.
- Tubnonghee. R., Sanongraj, S.,W. 2010. **Comparative Characteristics of Derived Plastic Oil and Commercial Diesel Oi**, The 8th Asian-Pacific Regional Conference on Practical Environmental Technologies (APRC2010), Ubon Ratchathani University, Ubonratchathani, Thailand

- UNEP (United Nation Enviroment Program). 2009. **Converting Waste Plastic Into a Resource, Division of Technology**. Industry and Economics International Enviroment Technology Centre. Osaka
- Utama, D.H, dkk. 2015. **Uji Berbagai Jenis Bahan Plastik Pada Alat Pengolahan Limbah Plastik Berbahan Bakar Tempurung Kelapa**. Program Studi Keteknikan Pertanian. Fakultas Pertanian USU. Medan
- Wibowo, A.S.A. 2011. **Studi Sifat Minyak Pirolisis Campuran Sampah Biomassa dan Sampah Plastik Polypropylene (PP)**. Skripsi. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Yuriandala, Y. dkk. 2016. **Pirolisis Campuran Sampah Plastik Polistirena Dengan Sampah Plastik Berlapis Aluminium Foil (Multilayer)**. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*. p ISSN:2085 dan e-ISSN:2502-6119. Volume 8. D. I. Yogyakarta
- Zuhra, C.T,. 2003. **Penyulingan, pemrosesan dan penggunaan minyak bumi**. Paper Universitas Sumatra Utara.