



**PENGARUH TEMPERATUR DAN LAMA PEMANASAN
TERHADAP MINYAK HASIL PIROLISIS BAHAN PLASTIK
SAMPAH RUMAH TANGGA**

SKRIPSI

Oleh

Dicky Kurnia Ramadhan

NIM 141910101090

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2018



**PENGARUH TEMPERATUR DAN LAMA PEMANASAN
TERHADAP MINYAK HASIL PIROLISIS BAHAN PLASTIK
SAMPAH RUMAH TANGGA**

SKRIPSI

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

Oleh

Dicky Kurnia Ramadhan

NIM 141910101090

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2018

PERSEMBAHAN

Segala puji dan syukur kehadirat Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa penguasa kehidupan dunia dan akhirat. Shalawat serta salam selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW. Saya persembahkan skripsi ini kepada:

1. Keluargaku, Bapak M. Agus Yasin, Ibu Sri Murniningtyas, kedua kakak tercinta Rahmad Andriansyah dan Dyah Novita Rahmawati, atas semua dukungan, perhatian, doa, cinta, kasih sayang, semangat, motivasi dan bimbingan;
2. Keluarga besar M16 Teknik Mesin Universitas Jember angkatan 2014 yang banyak membantu dan memberikan semangat serta suka duka selama kuliah;
3. Teman-teman kos Jalinan Kasih, Bengkel Mahasiswa Mesin UNEJ, KKN 75, serta teman-teman Teknik Mesin Unej yang telah memberikan ilmu dan dukungan;
4. Almamater tercinta Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember;

Dan seluruh pihak yang telah mendukung dan tak bisa saya sebutkan satu-satu.

MOTTO

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

(Ali Bin Abi Thalib)

Bila kau tak tahan lelahnya belajar, maka kau harus tahan menanggung perihnya kebodohan.

(Imam Syafi'i)

Untuk mendapatkan sesuatu yang kau inginkan, kau harus bersabar dengan sesuatu yang kau benci.

(Imam Ghazali)

Sesungguhnya hanya orang-orang yang bersabarlah, yang dicukupkan pahala mereka tanpa batas.

(Az-Zumar ayat 10)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

nama : Dicky Kurnia Ramadhan

NIM : 141910101090

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Pengaruh Temperatur dan Lama Pemanasan Terhadap Hasil Minyak Pirolisis Bahan Plastik Sampah Rumah Tangga” adalah benar – benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi 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 sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 31 Agustus 2018
Yang menyatakan,

Dicky Kurnia Ramadhan
NIM 141910101090

SKRIPSI

**PENGARUH TEMPERATUR DAN LAMA PEMANASAN TERHADAP
MINYAK HASIL PIROLISIS BAHAN PLASTIK SAMPAH PLASTIK
RUMAH TANGGA**

Oleh

Dicky Kurnia Ramadhan

NIM 141910101090

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Ir. Digo Listyadi S., M.Sc.

Dosen Pembimbing Anggota : Moch. Edoward R., S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pengaruh Temperatur dan Lama Pemanasan Terhadap Hasil Minyak Pirolisis Bahan Plastik Sampah Plastik Rumah Tangga” karya Dicky Kurnia Ramadhan telah diuji dan disahkan pada :

hari, tanggal : Jumat, 31 Agustus 2018
tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember.

Tim Penguji :

Dosen Pembimbing Utama,

Dosen Pembimbing Anggota,

Ir. Digdo Listyadi S., M.Sc.
NIP 19680617 199501 1 001

Moch. Edoward R., S.T., M.T.
NIP 19870430 201404 1 001

Penguji I,

Penguji II,

Hary Sutjahjono, S.T., M.T.
NIP 19681205 199702 1 002

Dr. Agus Triono, S.T., M.T.
NIP 19700807 200212 1 001

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

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

RINGKASAN

Pengaruh Temperatur dan Lama Pemanasan Terhadap Minyak Hasil Pirolisis Bahan Plastik Sampah Rumah Tangga; Dicky Kurnia Ramadhan, 141910101090; 2018; 57 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

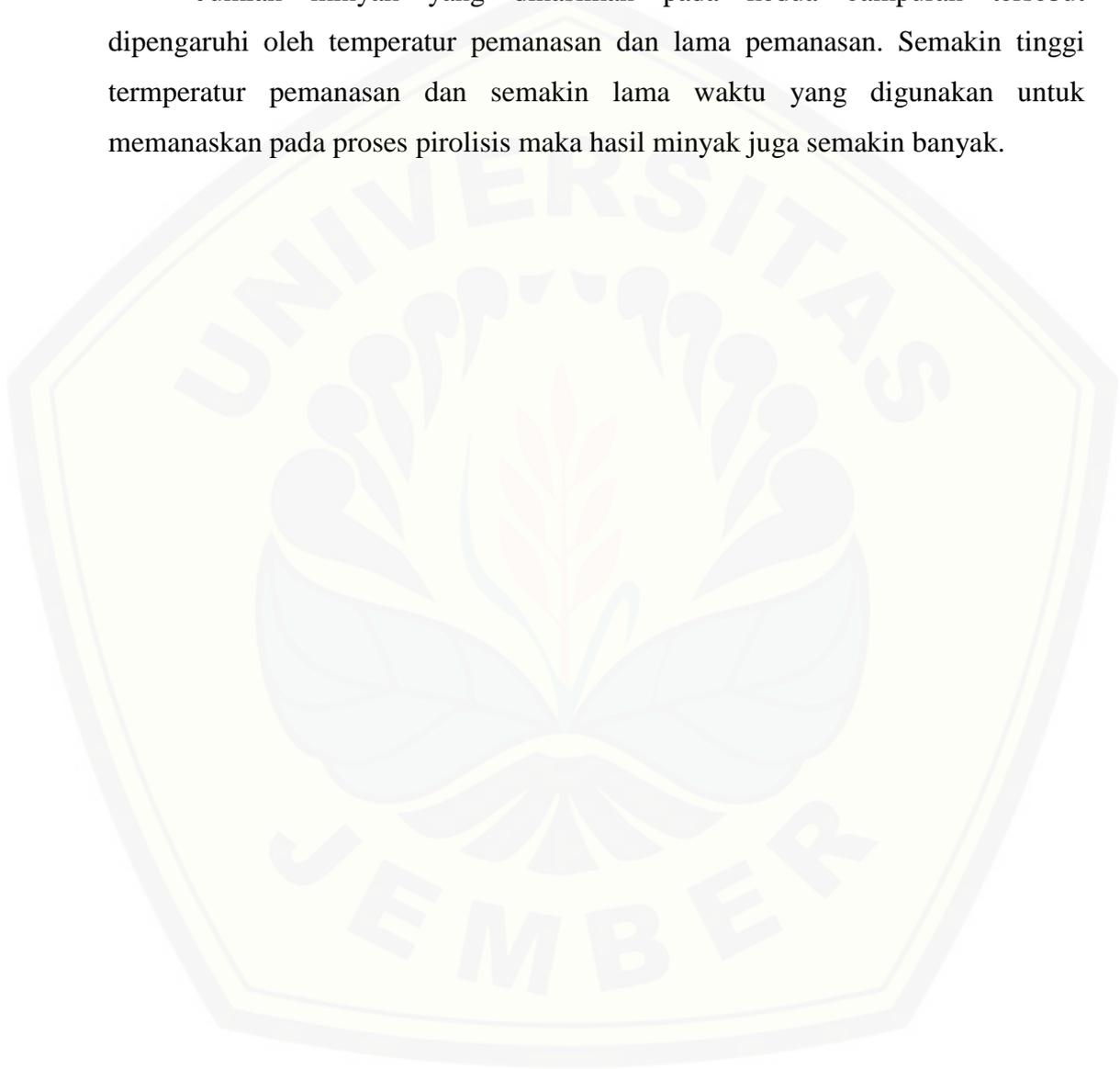
Pemakaian plastik dan barang-barang yang berbahan plastik semakin meningkat seiring dengan meningkatnya perkembangan teknologi, industri, dan jumlah populasi penduduk. Banyak upaya yang telah dilakukan untuk menguraikan bahan-bahan sampah plastik tersebut dan mengkonversikannya menjadi bahan bakar karena melihat dari sifat penyusun sampah plastik yaitu berupa hidrokarbon. Metode yang banyak dilakukan pada penelitian sebelumnya menggunakan proses pirolisis yang merupakan reaksi depolimerisasi yang mana pada suhu tinggi mengikuti mekanisme radikal bebas dan sangat cocok untuk senyawa yang memiliki derajat polimerisasi yang tinggi. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui jumlah minyak yang dihasilkan oleh bahan plastik rumah tangga, pengaruh lama pemanasan dan temperatur pemanasan terhadap minyak yang dihasilkan.

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan melakukan pirolisis dengan menggunakan variasi temperatur pemanasan dan lama pemanasan, dengan jumlah sampah yang sama. Minyak hasil pirolisis campuran bahan plastik *low density polyethylene* dan *polystyrene* dilakukan pengujian nilai kalor dan viskositas. Proses penelitian 300 gram campuran sampah plastik *low density polyethylene* dan *polystyrene* dilakukan dengan menggunakan variasi temperatur pemanasan 150 °C, 200 °C, dan 250 °C dengan lama pemanasan 30 menit, 40 menit, dan 50 menit.

Proses pirolisis dengan menggunakan campuran 70% LDPE dan 30% memperoleh hasil minyak terbanyak pada temperatur pemanasan 250 °C dengan lama pemanasan 50 menit sejumlah 173 ml. Campuran 70% PS dan 30% LDPE menghasilkan minyak terbanyak sejumlah 245 ml dengan temperatur pemanasan

250 °C dan lama pemanasan 50 menit. Nilai kalor dan viskositas dari kedua campuran 70% LDPE dan 30% PS menghasilkan 40,08 MJ/kg dan 2,096 mm²/s. Hasil untuk campuran 70% PS dan 30% LDPE menghasilkan nilai kalor dan viskositas sebesar 41,6 MJ/kg dan 2,127 mm²/s.

Jumlah minyak yang dihasilkan pada kedua campuran tersebut dipengaruhi oleh temperatur pemanasan dan lama pemanasan. Semakin tinggi temperatur pemanasan dan semakin lama waktu yang digunakan untuk memanaskan pada proses pirolisis maka hasil minyak juga semakin banyak.



SUMMARY

Effect of Temperature and Heating Duration to Oil by Pyrolysis process of Household Plastic Waste; Dicky Kurnia Ramadhan, 141910101090; 2018; 57 pages; Departement of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Jember University.

Increasing of plastic materials used as the technological, industrial, and population growth increases. Many efforts have been used to decompose these plastic waste materials and convert them into fuel because the composition of plastic waste is hydrocarbons. In many previous studies using pyrolysis method that is a depolymerization reaction which at high temperature is follow the free radical mechanism and suitable for high degree of polymerization compounds. The purpose of this research is to know how much oil produced by household plastics waste, effect of temperature and heating duration of oil produced.

This research uses experimental method by pyrolysis using variation of temperature and heating duration with the same amount of waste used. The pyrolysis oil of low density polyethylene and polystyrene plastic materials mixture is tested by heat value and viscosity. Experiment of 300 grams of low density polyethylene and polystyrene mixture by using temperature variation of 150 °C, 200 °C, and 250 °C with heating duration of 30 minutes, 40 minutes, and 50 minutes.

The pyrolysis process using a 70% LDPE and 30 PS mixture obtained the highest oil yield at 250 °C and 50 minutes was 173 ml. The mixture of 70% PS and 30% LDPE produced highest oil yield was 245 ml at heating temperature 250 °C and 50 minute of heating duration. The heating value and viscosity of 70% LDPE and 30% PS was 40.08 MJ/kg and 2.096 mm²/s. Result of 70% PS and 30% LDPE mixture on heating value and viscosity was 41.6 MJ/kg and 2.127 mm²/s.

Oil produced of both mixtures is influenced by temperature of reactor and heating duration of pyrolysis process. Higher temperature and longer time for pyrolysis process will produces more oil.



PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT. atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Temperatur dan Lama Pemanasan Terhadap Hasil Minyak Pirolisis Bahan Plastik Sampah Rumah Tangga”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusun skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Ir. Digdo Listyadi S, M.Sc., selaku Dosen Pembimbing Utama, Moch. Edoward R., S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
2. Ahmad Adib R., 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 disebutkan satu per satu.

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

Jember, Agustus 2018

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBINGAN	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
RINGKASAN / SUMMARY	vii
PRAKATA	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Sampah Plastik	5
2.1.1 Sampah dan Limbah	5
2.1.2 Sampah Padat.....	5
2.1.3 Karakteristik Sampah.....	7
2.1.4 Plastik.....	7
2.2 Metode Penguraian Rantai Karbon	13
2.2.1 Gasifikasi	13
2.2.2 Degradasi Termal (<i>Thermal Cracking</i>).....	14
2.2.3 Katalitik (<i>Catalytic Cracking</i>)	15

2.2.4 Pirolisis	16
2.3 Proses Pirolisis	17
2.4 Bahan Bakar Cair	22
2.4.1 Karakteristik Bahan Bakar Cair	24
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	26
3.1 Alat dan Bahan.....	26
3.1.1 Alat.....	26
3.1.2 Bahan	26
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian.....	26
3.3 Skema Alat.....	26
3.4 Metode Penelitian.....	28
3.5 Variabel.....	29
3.6 Prosedur Penelitian.....	29
3.7 Pengambilan data.....	30
3.7 Diagram Alir Penelitian	31
BAB 4. PEMBAHASAN	32
4.1 Data Hasil Penelitian Pirolisis Bahan Plastik.....	32
4.2 Pembahasan Hasil Pirolisis Bahan Plastik	34
4.1.1 Pengaruh Temperatur Terhadap Hasil Pirolisis Campuran Plastik	38
4.1.2 Pengaruh Lama Pemanasan Terhadap Hasil Pirolisis Campuran Plastik	39
4.3 Pengujian Hasil Pirolisis.....	40
4.3.1 Uji Nilai Kalor	40
4.3.2 Uji Viskositas.....	40
BAB 5. PENUTUP.....	41
5.1 Kesimpulan.....	41
5.2 Saran	42
DAFTAR PUSTAKA	43
LAMPIRAN.....	46

DAFTAR GAMBAR

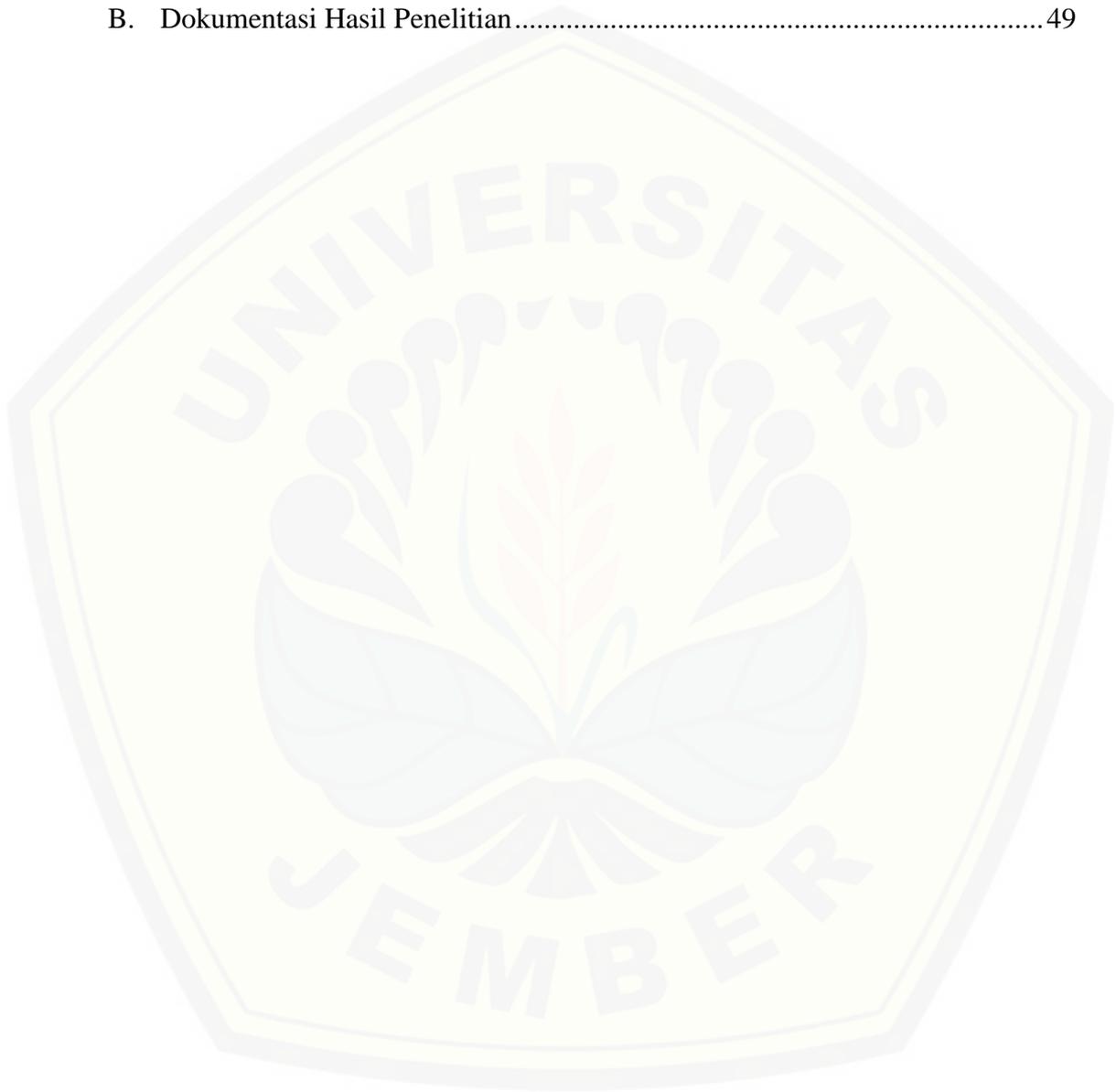
	Halaman
2.1 Empat zona proses gasifikasi (Sumber: Rahmat, 2012).....	14
2.2 Degradasi termal dengan <i>fluidized bed reactor</i> (Sumber: Gai, 2016)	15
2.3 Diagram pirolisis HDPE dengan katalis zeolit pada <i>conical spouted bed reactor</i> (CBSR) (Sumber: Elordi dkk, 2007)	16
2.4 <i>Closed Batch Reactor</i> (Sumber: Onwuidili, 2009)	18
2.5 <i>Fixed Bed Reactor</i> (Sumber: Achilias, 2007)	21
2.6 <i>Small Pilot Scale Batch Reactor</i> (Sumber: Miandad dkk, 2016).....	22
3.1 Skema alat pirolisis bahan plastik	28
4.1 Grafik hasil pirolisis 70% LDPE dan 30% PS	34
4.2 Grafik hasil pirolisis 70% PS dan 30% LDPE	35
4.3 Grafik pengaruh temperatur terhadap minyak hasil pirolisis bahan plastik 70% LDPE dan 30% PS	36
4.4 Grafik pengaruh temperatur terhadap minyak hasil pirolisis bahan plastik 30% LDPE dan 70% PS	37
4.5 Grafik pengaruh lama pemanasan terhadap jumlah minyak hasil pirolisis bahan plastik 70% LDPE dan 30% PS.....	38
4.6 Grafik pengaruh lama pemanasan terhadap jumlah minyak hasil pirolisis bahan plastik 30% LDPE dan 70% PS.....	39

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Jenis Plastik, Kode, dan Penggunaannya	9
2.2 Data Temperatur Transisi dan Temperatur Lebur Plastik.....	10
2.3 Sifat-Sifat Minyak dari Pirolisis Bahan Plastik	11
2.4 Pemilihan Plastik.....	13
2.5 Kandungan Unsur-Unsur yang Terdapat pada Minyak Bumi.....	23
3.1 Pengambilan Data Hasil Pirolisis.....	30
4.1 Tabel Hasil Penelitian Pirolisis Bahan Plastik	32
4.2 Hasil Penelitian Pirolisis Bahan Plastik <i>Polystyrene</i> Dengan Waktu Reaksi 75 Menit	33
4.3 Hasil Penelitian Pirolisis Bahan Plastik <i>Low Density Polyethelene</i> Dengan Lama Pemanasan 60 Menit	34
4.4 Hasil Uji Nilai Kalor	40
4.5 Hasil Uji Viskositas	40

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
A. Data Hasil Percobaan	46
B. Dokumentasi Hasil Penelitian	49



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemakaian plastik dan barang-barang yang berbahan plastik semakin meningkat seiring dengan meningkatnya perkembangan teknologi, industri, dan jumlah populasi penduduk. Kebutuhan penggunaan plastik di Indonesia mengalami peningkatan rata-rata 200 ton per tahunnya. Penggunaan plastik tercatat 1,9 juta ton pada tahun 2002, lalu naik lagi menjadi 2,3 juta ton pada 2003, pada tahun 2004 naik lagi 2,3 juta ton dan terjadi peningkatan menjadi 2,6 juta ton pada tahun 2011, yang berarti terjadi peningkatan sebanyak 22,58% dari 1,55 juta ton menjadi 1,9 juta ton. Peningkatan penggunaan plastik ini berdampak pada jumlah sampah plastik yang dihasilkan. Kementerian Lingkungan Hidup berasumsi bahwa penduduk Indonesia menghasilkan sampah 0,8 kg setiap hari per orang atau secara total sebanyak 189 ribu ton sampah/hari, dari jumlah tersebut sampah plastik yang dihasilkan yaitu 15% dari keseluruhan atau sejumlah 28,4 ribu ton sampah plastik/hari (Kemenprin, 2013).

Sampah plastik berbeda dengan sampah organik yang dapat terurai oleh bakteri, sampah plastik ini membutuhkan waktu yang sangat lama untuk terurai sehingga penumpukan sampah banyak terjadi di tempat pembuangan sampah. Perilaku penumpukan sampah oleh masyarakat akan menimbulkan bau yang tidak enak yang dapat menurunkan kualitas udara pada lingkungan. Gas berbahaya seperti karbon dioksida (CO_2), sulfur oksida (SO_x) dan nitrogen oksida (NO_x) juga dapat ditimbulkan dan menyebar di udara apabila dilakukan pembakaran pada sampah plastik tersebut (Sarker dkk., 2011).

Permasalahan sampah plastik semakin bertambah di tempat pembuangan sampah, maka banyak upaya yang telah dilakukan untuk menguraikan bahan-bahan sampah plastik tersebut dan mengkonversikannya menjadi bahan bakar karena melihat dari sifat penyusun sampah plastik yaitu berupa hidrokarbon. Metode penguraian rantai polimer yang sudah dikenal adalah pirolisis, gasifikasi, degradasi termal maupun katalitik (Rodiansono dkk, 2017).

Pirolisis adalah reaksi depolimerisasi dan pada suhu tinggi mengikuti mekanisme radikal bebas dan sangat cocok untuk senyawa yang memiliki derajat polimerisasi yang tinggi. Reaksi tersebut melalui tiga tahap yaitu tahapan memulai, perambatan, dan penghentian (Sabarodin & Dewanto, 1998). *Thermal Cracking* merupakan proses pirolisis dengan cara memanaskan polimer plastik tanpa oksigen. Hasil dari proses ini yaitu arang dari hasil pemanasan, lalu minyak sebagai hasil dari proses kondensasi gas, serta gas yang tidak bisa terkondensasi. Suhu yang digunakan pada proses ini pada 350 – 900 °C (Surono, 2013).

Bahan plastik yang dapat diolah menjadi bahan baku pembuatan bahan bakar minyak yaitu *PolyStyrene* (PS), *PolyEthylene Terephthalate* (PET), *High Density PolyEthylene* (HDPE), *Polyvinyl Chloride* (PVC), *Low Density PolyEthylene* (LDPE), dan *PolyPropylene* (PP). *Polystyrene* merupakan jenis plastik untuk bahan baku pembuatan mainan anak-anak, barang-barang elektronik, wadah makanan. *Polyethylene terephthalate* merupakan jenis plastik yang sering ditemukan yang digunakan sebagai bahan baku botol air mineral. *Low density polyethylene* digunakan untuk bahan baku kantong kresek dan *polypropylene* yang digunakan sebagai bahan gelas air mineral. (Miandad dkk., 2016)

Pada penelitian sebelumnya, hasil yang didapatkan oleh Achilias dkk. (2007) dengan menggunakan bahan plastik pengembangan dari PS dan reaktor jenis *fixed bed reactor*, memperoleh hasil 90,5% minyak pada suhu 510 °C. Penelitian lainnya, Onwudili dkk. (2009) menghasilkan 97% minyak pada temperatur 425 °C dengan menggunakan reaktor jenis *batch reactor*. Miandad dkk. (2016) menggunakan sampah bahan plastik PS, PE, PP, dan PET dengan jumlah yang sama yaitu 1 kg, lalu dipanaskan pada temperatur 450°C selama 75 menit menggunakan jenis reaktor yaitu *batch reactor*. Hasil minyak yang paling banyak diperoleh yaitu penggunaan sampah plastik berbahan PS dengan hasil 80,8% minyak. Namun Miandad juga menyebutkan bahwa jika dilakukan campuran bahan plastik 50% PS dan 50% PP, hasil minyak yang diperoleh 25%. Untuk campuran 50% PP dan 50% PE memperoleh jumlah minyak 24%, dan campuran 50% PS dan 50% PE menghasilkan jumlah minyak 54% yang

merupakan hasil terbanyak yang diperoleh pada campuran dua bahan plastik. Pencampuran jenis plastik juga dilakukan oleh Donaj dkk. (2012) pada 75% LDPE, 30% HDPE dan 24% PP menggunakan *fluidized bed reactor* dengan suhu 650 °C dan 730 °C. Hasil tertinggi didapatkan pada suhu 650 °C dengan hasil 48% minyak dengan kekentalan yang tinggi. Pada suhu 730 °C memperoleh 44% minyak dengan kekentalan yang rendah. Dengan hal tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu yang digunakan, akan menyebabkan berkurangnya produksi cairan hidrokarbon dan gas. Oleh sebab itu pada penelitian ini akan menggunakan model reaktor jenis *batch* untuk bahan sampah plastik rumah tangga dengan menggunakan variasi suhu dan lama pemanasan yang berbeda.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Berapa volume minyak yang dihasilkan dari proses pirolisis bahan sampah plastik rumah tangga?
2. Bagaimana pengaruh lama pemanasan terhadap jumlah minyak yang dihasilkan?
3. Bagaimana pengaruh temperatur panas reaktor terhadap jumlah minyak yang dihasilkan?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui jumlah minyak yang dihasilkan dari pirolisis bahan plastik sampah rumah tangga.
2. Untuk mengidentifikasi pengaruh lama pemanasan terhadap jumlah minyak yang dihasilkan.
3. Untuk memahami pengaruh temperatur panas reaktor terhadap jumlah minyak yang dihasilkan.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memberikan informasi mengenai karakter minyak yang dihasilkan dari pirolisis bahan plastik sampah rumah tangga.
2. Memberikan informasi mengenai pengaruh temperatur panas reaktor dan lama pemanasan terhadap jumlah minyak yang dihasilkan.
3. Sebagai informasi untuk mengembangkan penelitian selanjutnya mengenai pirolisis bahan plastik sampah rumah tangga sebagai bahan bakar minyak alternatif.

1.5 Batasan Masalah

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

1. Tidak menghitung perpindahan panas secara konduksi, konveksi dan radiasi dari pemanas ke udara luar.
2. Tidak terjadi kebocoran pada reaktor, pipa dan tabung penampung minyak.
3. Debit air pendingin pada proses kondensasi terjadi secara konstan.
4. Tekanan udara awal pada reaktor sama dengan tekanan udara atmosfer.
5. Tidak melakukan pembahasan pada jumlah energi yang dibutuhkan saat proses pirolisis.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sampah Plastik

2.1.1 Sampah dan Limbah

American Public Health Association menyatakan bahwa sampah merupakan sesuatu yang tidak digunakan, tidak terpakai, tidak disenangi atau sesuatu yang dibuang, yang berasal dari kegiatan manusia dan tidak terjadi dengan sendirinya (Kusnoputranto, 2000). Sampah diartikan sebagai material – material yang bukan cairan ataupun gas yang keberadaannya tidak diinginkan dan dibuang oleh manusia (Miller, 1997).

Menurut Kristanto (2004), limbah adalah buangan dari suatu proses yang kehadirannya pada suatu tempat tidak dikehendaki lingkungan karena tidak memiliki nilai ekonomi dan digolongkan menjadi limbah organik dan anorganik.

Dari beberapa pengertian diatas, maka sampah dan limbah dapat didefinisikan secara berbeda yaitu sampah merupakan segala sesuatu yang dibuang dari sumbernya karena dianggap tidak berguna lagi seperti fungsi awalnya yang berasal dari kegiatan manusia, dan untuk limbah didefinisikan sebagai sisa hasil dari suatu proses.

2.1.2 Sampah Padat

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

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

a. Sampah yang bersifat anorganik

Sampah anorganik merupakan sampah yang berasal dari bahan-bahan non organik. Sebagian besar sampah anorganik tidak dapat terurai oleh

mikroorganisme secara keseluruhan (*unbiodegradable*). Sebagian lainnya hanya dapat diuraikan namun dalam waktu yang lama. Sampah anorganik dibedakan menjadi sampah logam, sampah plastik, sampah kertas, sampah keramik dan sebagainya.

b. Sampah yang bersifat organik

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

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

a. Sampah organik :

- | | |
|-----------------|---------------|
| 1) Kulit pisang | : 3-5 minggu |
| 2) Kertas | : 2-5 bulan |
| 3) Kulit Jeruk | : 6 bulan |
| 4) Kayu balok | : 10-20 tahun |

b. Sampah anorganik :

- | | |
|---------------------|----------------------|
| 1) Kaus kaki katun | : 5-6 bulan |
| 2) Kaus kaki wol | : 1-5 tahun |
| 3) Puntung rokok | : 1-12 tahun |
| 4) Kotak minuman | : 5 tahun |
| 5) Kain nilon | : 30-40 tahun |
| 6) Permen karet | : 50 tahun |
| 7) Kaleng aluminium | : 200-500 tahun |
| 8) Botol plastik | : tidak dapat hancur |
| 9) Botol kaca | : tidak dapat hancur |

2.1.3 Karakteristik Sampah

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

a. Sampah Basah (*Garbage*)

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

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

b. Sampah Kering (*Rubbish*)

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

2.1.4 Plastik

Plastik merupakan salah satu jenis makromolekul yang terbentuk melalui proses polimerisasi. Polimerisasi adalah proses penggabungan beberapa molekul sederhana (monomer) melalui proses kimia menjadi molekul besar

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

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

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

Berdasarkan sifat yang dimiliki kedua kelompok plastik di atas, *thermoplastic* merupakan jenis plastik yang memungkinkan untuk didaur ulang. Jenis plastik yang dapat didaur ulang diberi kode berupa nomor untuk memudahkan dalam mengidentifikasi dan penggunaannya. Pengelompokan jenis plastik ini dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2.1 Jenis Plastik, Kode, dan Penggunaannya

No. Kode	Jenis Plastik	Penggunaan
1	PET (<i>Polyethylene Terephthalate</i>)	Botol minuman ringan dan botol air mineral, bahan pengisi kantong tidur (<i>sleeping bag</i>) atau bantal dan serat textile.
2	HDPE (<i>High Density Polyethylene</i>)	Kantong plastik, botol plastik, kantong <i>freezer</i> , botol susu dan <i>cream</i> , botol shampoo dan pembersih.
3	PVC (<i>Polyvinyl Chloride</i>)	Botol <i>juice</i> , kotak pupuk, pipa saluran, selang kebun, sol sepatu, kantong darah dan tabung.
4	LDPE (<i>Low Density Polyethylene</i>)	Kotak <i>ice cream</i> , kantong sampah, dan kantong plastik.
5	PP (<i>Polypropylene</i>)	Kemasan berpendingin, beberapa bungkus makanan, beberapa kantong, dan sedotan.
6	PS (<i>Polystyrene</i>)	Kotak <i>yoghurt</i> , plastik meja, cangkir minuman panas, wadah makanan, pengepakan daging, dan pelindung <i>packing</i> .
7	<i>Other (O)</i> , jenis plastik lainnya selain nomor kode 1-6	Termasuk plastik lainnya, <i>acrylic</i> dan <i>nylon</i>

Sumber: UNEP, 2009

Plastik memiliki banyak kelebihan dibandingkan bahan lainnya, yaitu mempunyai densitas yang lebih rendah daripada bahan lain, bersifat isolator terhadap listrik, memiliki kekuatan mekanik yang bervariasi, ketahanan suhu yang terbatas, dan ketahanan terhadap bahan kimia yang bervariasi. Plastik yang banyak digunakan oleh masyarakat yaitu jenis plastik *polyethylene*, yang mana terdiri dari *high density polyethylene* (HDPE) dan *low density polyethylene* (LDPE). Penggunaan plastik jenis lainnya yaitu *polystyrene*, *polypropylene*, dan *polyethylene terephthalate*.

Sifat termal dari berbagai jenis plastik sangat berguna untuk proses pembuatan dan daur ulang plastik. Sifat-sifat termal yang penting adalah titik lebur (T_m), temperatur transisi (T_g) dan temperatur dekomposisi. Titik lebur merupakan titik dimana plastik mulai melunak dan berubah wujud menjadi cair. Temperatur transisi merupakan temperatur ketika plastik mengalami proses perenggangan struktur sehingga terjadi perubahan dari kondisi kaku menjadi lebih lunak atau fleksibel. Di atas titik lebur, plastik mengalami pembesaran volume

sehingga molekul bergerak lebih bebas yang ditandai dengan peningkatan kelenturannya. Temperatur dekomposisi adalah batasan dari proses pencairan dari plastik. Plastik akan mudah mengalir dan struktur akan mengalami dekomposisi jika suhu dinaikkan diatas titik lebur. Proses ini terjadi karena energi termal melebihi energi yang mengikat rantai molekul dan polimer akan mengalami dekomposisi pada saat suhu diatas 1,5 kali dari temperatur transisinya (A.G. Buekens dan H. Huang, 1998). Sifat termal yang penting pada proses daur ulang plastik dapat dilihat pada Tabel 2.2 berikut ini.

Tabel 2.2 Data Temperatur Transisi dan Temperatur Lebur Plastik

Jenis Bahan	Tm (°C)	Tg (°C)	Temperatur Kerja Maksimal (°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: Surono, U.B., 2013

Penggunaan plastik yang berlebihan dan pembuangan sampah plastik yang tidak dapat terkontrol akan menimbulkan masalah bagi lingkungan, karena sifat plastik yang tidak dapat teruraikan di dalam tanah. Berbagai metode sudah dilakukan oleh pakar lingkungan dan ilmuwan dari berbagai disiplin ilmu, salah satu metode yang digunakan yaitu dengan mendaur ulang sampah plastik tersebut menjadi barang yang memiliki fungsi lainnya, namun dengan cara tersebut hasilnya tidak terlalu efektif. Dan metode yang dapat mengurangi jumlah sampah plastik yaitu pirolisis.

Pada daur ulang plastik dengan metode pirolisis, bahan *polyolefin* (PE, PP, PS) memberikan hasil distilat terbaik karena memiliki rantai lurus dari struktur hidrokarbon. *Polyethylene* (PE) dan *polypropylene* (PP) merupakan bahan yang paling bahu untuk dijadikan bahan bakar, sedangkan *polyethylene terephthalate*

(PET) merupakan bahan yang paling tidak cocok untuk dijadikan bahan bakar (P. V. Thorat dkk, 2013). Beberapa literatur tentang penelitian pirolisis menggunakan berbagai macam jenis plastik, menunjukkan sifat hasil perolehan minyak yang mendekati sifat bahan bakar dari minyak bumi yaitu bensin dan solar dapat dilihat pada Tabel 2.3 berikut ini.

Tabel 2.3 Sifat-Sifat Minyak dari Pirolisis Bahan Plastik

Sifat	Jenis Plastik						Hasil Standar (ASTM 1979)	
	PET	HDPE	PVC	LDPE	PP	PS	Bensin	Solar
Nilai Kalor (MJ/kg)	28,2	40,5	21,1	39,5	40,8	43,0	42,5	43,0
API gravity @ 60°F	n.a	27,48	38,98	47,75	33,03	n.a	55	38
Viskositas (mm ² /s)	n.a	5,08 ^a	6,36 ^b	5,56 ^c	4,09 ^a	1,4 ^d	1,17	1,9-4,1
Jumlah MON (menit)	n.a	85,3	n.a	n.a	87,6	n.a	81-85	-
Jumlah RON (menit)	n.a	95,3	n.a	n.a	97,8	90-98	91-95	-
Massa Jenis @ 15°C (g/cm ³)	0,90	0,89	0,84	0,78	0,86	0,85	0,780	0,807
Arang (wt%)	n.a	0,00	n.a	0,02	0,00	0,006	-	0,01
Titik Nyala (°C)	n.a	48	40	41	30	26,1	42	52

n.a tidak ada di literatur

^a Viskositas pada suhu 40 °C

^b Viskositas pada suhu 30 °C

^c Viskositas pada suhu 25 °C

^d Viskositas pada suhu 50 °C

Sumber: Anuar Sharuddin dkk, 2016

Nilai kalor yang dimiliki oleh minyak pirolisis HDPE, PP, dan PS semua diatas 40 MJ/kg yang mana dianggap tinggi untuk penggunaan energi. Jenis plastik PET dan PVC memiliki nilai kalor dibawah 30 MJ/kg dengan adanya asam benzoate pada PET dan senyawa klorin pada PVC yang mana akan memperburuk kualitas bahan bakar.

API gravity merupakan metode yang digunakan untuk mengukur densitas dari minyak terhadap air yang mana ditetapkan oleh *American Petroleum Institute* (API) dan juga dapat disebut *specific gravity* (Meyer, 2003). Semua jenis plastik

memiliki *API gravity* mendekati solar kecuali LDPE yang mendekati hasil dari bensin.

Hasil viskositas semua jenis plastik mendekati viskositas solar kecuali jenis plastik PS yang mana mendekati viskositas bensin. Arang yang dihasilkan oleh PS juga lebih rendah dari standar yang dimiliki oleh solar yang mana kurang dari 0,01% dan LDPE menghasilkan arang terbanyak sebesar 0,02% namun masih dapat ditoleransi dikarenakan perbedaan yang sangat kecil.

Research Octane Number (RON) dan *Motor Octane Number* (MON) sangat penting untuk menggolongkan kualitas *anti-knock* untuk bensin yang berkisar antara C6 – C10. Jumlah oktan tinggi yang dimiliki oleh bahan bakar akan menghasilkan kualitas *anti-knock* yang baik. *Knock* biasanya disebabkan oleh laju pembakaran dari bensin pada mesin yang menghasilkan suara ledakan dan lama-lama akan mengurangi prestasi mesin (Kalghargi, 2001). Jumlah RON dan MON jenis plastik HDPE yaitu 95,3 dan 85,3. Jenis plastik PP memiliki jumlah RON dan MON tertinggi yaitu 97,8 dan 87,6. Jenis plastik PS juga memiliki hasil yang sama dengan standar yang dimiliki oleh bensin yaitu dengan jumlah RON 90 – 98.

Titik nyala (*flash point*) yang dimiliki oleh minyak pirolisis jenis plastik HDPE, PVC, dan LDPE mendekati dengan standar bensin yang mengindikasikan bahwa titik nyala dari tiga plastik tersebut dapat dibandingkan dengan hasil penyulingan bahan bakar minyak ringan. Jenis plastik PP dan PS menghasilkan titik nyala lebih rendah dari standar bensin maupun solar, yang mana menunjukkan bahwa minyak pirolisis jenis plastik PP dan PS mudah menguap dan membutuhkan perhatian yang lebih saat menggunakannya.

Dari beberapa hasil yang menunjukkan kecocokan minyak hasil pirolisis bahan plastik terhadap standar yang dimiliki oleh minyak bahan bakar bensin dan solar maka dapat disimpulkan untuk pemilihan bahan plastik yang cocok digunakan untuk sistem bahan bakar dapat dilihat pada Tabel 2.4 berikut ini.

Tabel 2.4 Pemilihan Plastik

Jenis Polimer	Kecocokan Sistem Bahan Bakar
<i>Polyethylene</i> (PE)	Sangat baik
<i>Polypropylene</i> (PP)	Sangat baik
<i>Polystyrene</i> (PS)	Sangat baik (Menghasilkan Minyak yang baik)
Resin <i>Acrylonitrile Butadiene Styrene</i> (ABS)	Baik
<i>Polyvinyl Chloride</i> (PVC)	Tidak cocok
<i>Polyurethane</i> (PUR)	Tidak cocok
<i>Polyethylene Terephthalate</i> (PET)	Tidak cocok

Sumber: Thorat P.V., 2013

2.2 Metode Penguraian Rantai Karbon

2.2.1 Gasifikasi

Gasifikasi dapat diartikan sebagai proses pembuatan gas. Definisi sebenarnya yaitu proses konversi energi dari bahan bakar yang mengandung karbon dalam bentuk padat maupun cair menjadi gas yang disebut *producer gas*, dimana gas tersebut memiliki nilai bakar dengan cara oksidasi parsial pada temperatur tinggi. Produk hasil dari gasifikasi yang telah dimurnikan adalah komponen yang mudah terbakar yang terdiri dari campuran karbon monoksida (CO), hidrogen (H₂), dan metana (CH₄) yang disebut *syngas* dan pengotor inorganic seperti NH₃, HCN, H₂S, debu halus, serta pengotor organik yaitu tar (Milne dkk, 1998). Komposisi gas ini sangat tergantung pada komposisi unsur pada biomassa, bentuk dan partikel biomassa serta kondisi pada proses gasifikasi.

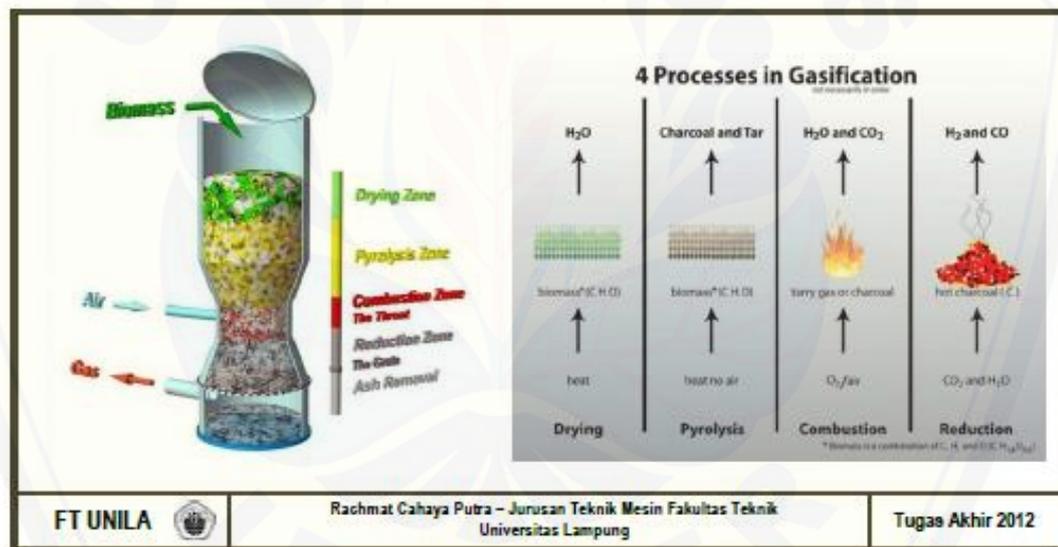
Proses gasifikasi biomassa dilakukan dengan cara melakukan pembakaran secara tidak sempurna di dalam sebuah ruangan yang mampu menahan suhu tinggi yang disebut reaktor gasifikasi. Penggunaan udara dengan jumlah lebih sedikit dari jumlah kebutuhan stokiometrik pembakaran dilakukan agar terjadi proses pembakaran tidak sempurna. Udara tersebut dialirkan ke dalam reaktor untuk menyuplai kebutuhan oksigen menggunakan kipas atau *blower*.

Proses gasifikasi biomassa terdiri dari beberapa tahapan. Pirolisis merupakan tahap pertama yang terjadi ketika biomassa mulai mengalami kenaikan suhu. Pada tahap ini unsur kimia yang terkandung pada biomassa terlepas dan menghasilkan arang.

Tahap kedua yaitu proses pembakaran (*combustion*). Pada tahap ini unsur kimia dan sebagian arang yang masih memiliki kandungan karbon (C) bereaksi dengan oksigen membentuk CO_2 dan CO serta menghasilkan panas yang digunakan pada tahap selanjutnya, yaitu tahap gasifikasi.

Tahap gasifikasi terjadi ketika arang bereaksi dengan CO_2 dan uap air yang menghasilkan gas CO dan H_2 yang merupakan produk yang diinginkan dari keseluruhan proses gasifikasi.

Tahap tambahan dalam proses ini adalah tahap *water shift reaction*. Pada tahapan ini, reaksi termo-kimia yang terjadi di dalam reaktor gasifikasi mencapai keseimbangan. Sebagian CO yang terbentuk dalam reaktor bereaksi dengan uap air dan membentuk CO_2 dan H_2 (Basu, 2010).



Gambar 2.1 Empat zona proses gasifikasi (Sumber: Rahmat, 2012)

2.2.2 Degradasi Termal (*Thermal Cracking*)

Degradasi termal atau biasa disebut *thermal cracking* adalah suatu proses sederhana dimana pada saat temperatur tinggi, polimer mencair dan pecah menjadi molekul yang lebih kecil, namun kualitas produk yang dihasilkannya rendah (John, 2006). *Thermal cracking* pada hal ini tidak menggunakan katalis. Proses *cracking* pada suhu rendah menghasilkan produk yang agak keras (*waxy*) didalam reaktor, yang mana terdiri dari paraffin dan arang karbon. Secara umum,

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pembahasan dapat diambil beberapa kesimpulan diantaranya sebagai berikut :

1. Jumlah minyak yang dihasilkan pada proses pirolisis bahan plastik sampah rumah tangga dengan campuran 70% LDPE dan 30% PS memiliki jumlah yang lebih sedikit daripada minyak yang dihasilkan oleh campuran bahan plastik 70% PS dan 30% LDPE karena jenis plastik PS memiliki titik leleh yang lebih kecil dari pada titik leleh yang dimiliki oleh plastik jenis LDPE. Titik leleh plastik LDPE sebesar 105 – 115 °C (Onwudili, 2009) yang lebih tinggi dari titik leleh dari plastik PS yaitu sebesar 82 – 103 °C. Campuran 70% LDPE dan 30% PS memiliki nilai kalor dan viskositas sebesar 40,08 MJ/kg dan 2,096 mm²/s. Nilai kalor dan viskositas dari campuran 70% PS dan 30% LDPE sebesar 41,6 MJ/kg dan 2,127 mm²/s.
2. Lama pemanasan berpengaruh pada jumlah minyak yang dihasilkan, semakin lama waktu yang digunakan untuk proses pirolisis maka semakin banyak juga jumlah minyak yang dihasilkan. Minyak terbanyak yang diperoleh dari campuran 70% LDPE dan 30% PS yaitu sejumlah 173 ml dengan lama pemanasan 50 menit. Hasil minyak terbanyak sejumlah 245 ml dari campuran 70% PS dan 30% LDPE pada lama pemanasan 50 menit. Kedua campuran bahan plastik masing-masing menghasilkan jumlah minyak terbanyak pada waktu pemanasan 50 menit.
3. Minyak terbanyak yang dihasilkan oleh proses pirolisis bahan plastik campuran 70% LDPE dan 30% PS rata-rata sejumlah 173 ml pada temperatur 250 °C. Hasil terbanyak pada bahan plastik dengan campuran 70% PS dan 30% PS sejumlah 245 ml pada temperatur 250 °C. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu yang digunakan, maka semakin banyak minyak yang dihasilkan.

5.2 Saran

Saran yang dapat peneliti berikan dari hasil penelitian yang telah dilakukan sebagai berikut :

1. Perlu dilakukan penggantian reaktor pirolisis dengan bahan yang lebih tahan panas agar reaktor pirolisis tidak mudah memuai saat dipanaskan dengan suhu tinggi.
2. Pada saat proses modifikasi sebaiknya menghindari penyambungan pipa terlalu banyak karena *filler* las dapat masuk ke dalam pipa tembaga yang dapat menyebabkan penyumbatan yang diakibatkan oleh endapan yang dihasilkan minyak..
3. Diharapkan melakukan modifikasi pipa kondensor agar dapat melakukan proses kondensasi dengan baik.
4. Perlu dilakukan penambahan *filter* pada reaktor untuk menghindari masuknya kotoran ke dalam tabung kondensor.
5. Perlu dilakukan perubahan proses pemanasan yang digunakan sebagai pemanas reaktor agar dapat mencapai temperatur yang maksimal sehingga dapat menghasilkan jumlah minyak yang lebih maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Achilias, D. S., C. Roupakias, P. Megalokonomos, A. A. Lappas, E. V. Antonakou. 2007. Chemical Recycling of Plastic Wastes made from Polyethylene (LDPE and HDPE) and Polypropylene (PP). *Journal of Hazardous Materials* 149: 536-542.
- Aguado, J., D. P. Serrano, J. M. Escola, E. Garagorri. 1997. Catalytic Conversion Of Low-Density Polyethylene Using A Continuous Screw Kiln Reactor. *Journal Energy and Fuels* 11: 1225-1231.
- Anuar Sharuddin, S. D., F. Abnisa, W. M. A. W. Daud, dan M. K. Aroua. 2016. A Review on Pyrolysis of Plastic Wastes. *Energy Convension and Management* 115: 308-326.
- Basriyanta. 2007. *Memanen Sampah*. Yogyakarta: Kanisius, 18-19.
- Basu, P. 2010, *Biomass Gasification and Pyrolysis Practical Design*. United States: Elsevier.Inc.
- Donaj, P. J., W. Kaminsky, F. Buzeto, dan W. Yang. 2012. Pyrolysis of Polyolefins for Increasing the Yield of Monomers' Recovery. *Waste Management* 32(5): 840-846.
- Elordi G, Olazar M, Castaño P, Artetxe M, Bilbao J. 2012. Polyethylene Cracking on a spent FCC Catalyst in a Conical Spouted Bed. *Industrial and Engineering Chemistry Research* 51(43): 14008-14017.
- Jude A. Onwudili, Nagi Insura, Paul T. Williams. 2009. Composition of Product from the Pyrolysis of Polyethylene and Polystyrene in a Closed Batch Reactor: Effect of Temperature and Residence Time. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 86: 293-303.
- Kementrian Perindustrian. 2013. *Industri Plastik Terbatas Kapasitas Produksi*. Jakarta.

- Kumar, S dan Singh, R.K. 2011. Recovery of Hydrocarbon Liquid From Waste High Density Polyethylene by Thermal Pyrolysis. *Brazilian Journal of Chemical Engineering* 28: 659-667.
- Kusnoputranto, H. 2000. *Kesehatan Lingkungan*. Depok: FKM UI.
- Kristianto. 2004. *Ekologi Industri*. Yogyakarta: Andi. Hal 71-75, 83-84, 155, 157, 169-172.
- Lee, K. H., S. G. Jeon, K. H. Kim, N. S. Noh, D. H. Shin, J. Park, Y. Seo, J. J. Yee, G. T. Kim. 2003. Thermal and Catalytic Degradation of Waste High-density Polyethylene (HDPE) Using Spent FCC Catalyst. *Korean J. Chem. Eng*, 20(4): 693 – 697.
- Miandad, R., M. A. Barakat, A. S. Aburizaiza, M. Rehan, A.S. Nizami. 2016. Catalytic Pyrolysis of Plastic Waste: a Review. *Process Safety and Environmen Protection* 102: 882-838.
- Miller Jr, G.T., 1997. *Environment Science*. Sixth Edition. United States of America: Wadsworth Publishing Company. 335-346.
- Milne, T.A., N. Abatzoglou, dan R.J. Evan. 1998. *Biomass Gasifier "Tars": Their Nature, Formation and Conversion*. National Renewable Energy Laboratory (NREL).
- Mujiarto, I. 2005. *Sifat dan karakteristik material plastik dan bahan aditif*. Edisi Desember 3(2).
- Thorat P.V., S. Warulkar, dan H. Sathone. 2013. Pyrolysis of Waste Plastic to Produce Liquid Hydrocarbons. *Advances in Polymer Science and Technology International Journal* 3(1): 14-18.
- Rodiansono, Trisunaryanti W, dan Triyono. 2007. *Pembuatan, Karakterisasi dan Uji Aktivitas Katalis NiMo/Z Pada Reaksi Hidrorengka Menjadi Fraksi Bensin*. Berkala MIPA. 17: 2.

- Sabarodin, A dan Dewanto. 1998. *Pembuatan Minyak Bakar dari Sampah Plastik Sebagai Sumber Energi Alternatif*. Fakultas Teknik UGM. Yogyakarta. Hal 9-12.
- Sarker, M., M. Rashid, dan M. Molla. 2011 Waste Plastic Conversion Into Chemical Product Like Napthan. *Journal of fundamentals of renewable energy and applications*.
- Scheirs, J. dan W. Kaminsky. 2006. *Feedstock Recycling and Pyrolysis of Waste Plastics: Converting Waste Plastics into Diesel and Other Fuels*. New Jersey: John Wiley and Sons
- Sirait, M. 2009. *Sulap Sampah Plastik Keras Jadi Jutaan Rupiah*. Yogyakarta: PT. Bentang Pustaka.
- Soemirat, Juli. 2000. *Kesehatan Lingkungan*. Bandung: Gadjah Mada University Press.
- Surono, U.B. 2013. *Berbagai Metode Konversi Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak*. *Jurnal Teknik* 3(1) ISSN 2088-3676.
- UNEP (United Nations Environment Programme). 2009. *Converting Waste Plastics Into a Resource*. Osaka/Shiga: Division of Technology, Industry and Economics International Environmental Technology Centre
- UNICEF. 2006. *Solid and Liquid Waste Managemen In Rural Areas*. India: Departement of Drinking Water Supply

Lampiran A. Data Hasil Percobaan

1. Data Hasil Pirolisis Campuran Bahan Plastik Sampah Rumah Tangga

Tabel A.1 Tabel Hasil Penelitian Pirolisis Bahan Plastik

Campuran Plastik	Temperatur (T)	Waktu (t)	Tekanan (P) (kg/cm ²)	Hasil Rata-Rata (ml)	Hasil Pirolisis (gram)			
					Minyak	Arang	Gas Sisa	
70% LDPE & 30% PS (300 gram)	150 °C (T ₁) (147 - 153 °C)	30 menit (t ₁)	35	71	61	145	94	
		40 menit (t ₂)	35	87	75	123	102	
		50 menit (t ₃)	35	89	77	119	104	
	200 °C (T ₂) (197 - 203 °C)	30 menit (t ₁)	45	91	79	106	115	
		40 menit (t ₂)	45	121	105	57	138	
		50 menit (t ₃)	45	125	108	47	145	
	250 °C (T ₃) (247 - 253 °C)	30 menit (t ₁)	50	163	141	48	117	
		40 menit (t ₂)	50	170	147	39	114	
		50 menit (t ₃)	50	173	150	34	116	
	70% PS & 30% LDPE (300 gram)	150 °C (T ₁) (147 - 153 °C)	30 menit (t ₁)	40	124	107	91	102
			40 menit (t ₂)	40	147	127	62	111
			50 menit (t ₃)	40	154	133	48	119
200 °C (T ₂) (197 - 203 °C)		30 menit (t ₁)	45	191	165	38	97	
		40 menit (t ₂)	45	193	167	31	102	
		50 menit (t ₃)	45	198	171	21	108	
250 °C (T ₃) (247 - 253 °C)		30 menit (t ₁)	65	241	208	18	74	
		40 menit (t ₂)	65	243	210	11	79	
		50 menit (t ₃)	65	245	212	7	81	

2. Perhitungan Temperatur Reaktor Bagian Dalam

Nilai yang dihasilkan *pressure gauge* digunakan sebagai penentuan asumsi nilai temperatur di dalam reaktor dengan menggunakan interpolasi linear sebagai berikut :

$$\frac{(x - x_1)}{(x_2 - x_1)} = \frac{(y - y_1)}{(y_2 - y_1)}$$

Keterangan :

x = Temperatur luar (°C)

y = Temperatur dalam (°C)

x_1 = Tekanan x_1 (bar)

x_2 = Tekanan x_2 (bar)

y_1 = Temperatur y_1 (°C)

y_2 = Temperatur y_2 (°C)

Maka didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel A.2 Tabel Temperatur Reaktor Bagian Luar dan Dalam

Campuran plastik	Temperatur Luar (°C)	Temperatur Dalam (°C)	Tekanan (bar)	Tekanan (kg/cm ²)
70% LDPE dan 30% PS	150	241,4	34,33	35
	200	256,15	44,13	45
	250	272,65	49,03	50
70% PS dan 30% LDPE	150	249,21	39,23	40
	200	256,15	44,13	45
	250	279,58	63,74	65

3. Data Karakteristik Minyak Pirolisis Bahan Plastik



KEMENTERIAN RISET TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK JURUSAN MESIN
LABORATORIUM MOTOR BAKAR

Jl. MayjenHaryono 167 Malang 65145 Telp. 0341-554291 pes.1222
 Web : motorbakar.ub.ac.id Email : Laboratoriummotorbakar62@gmail.com



Hasil Pengujian PS 70 + LDPE 30

No	Pengujian (Satuan)	Hasil
1	Viskositas (cst)	2.096
2	Nilai Kalor (kalori / gram)	9572.738
3	Massa Jenis (gram / ml)	0.873
4	Titik Nyala (° C)	71

Hasil Pengujian PS 30 + LDPE 70

No	Pengujian (Satuan)	Hasil
1	Viskositas (cst)	2.127
2	Nilai Kalor (kalori / gram)	9936.519
3	Massa Jenis (gram / ml)	0.865
4	Titik Nyala (° C)	65



Lampiran B. Dokumentasi Hasil Penelitian



Gambar B.1 Plastik *low density polyethylene* (LDPE) dan *polystyrene* (PS)



Gambar B.2 Rangkaian reaktor pirolisis bahan plastik



Gambar B.3 Hasil minyak pirolisis bahan plastik



Gambar B.4 Pengujian viskositas minyak pirolisis



Gambar B.5 Pengujian *flash point* (titik nyala) minyak pirolisis



Gambar B.6 Pengujian massa jenis minyak pirolisis