

SKRIPSI

**UPAYA RECOVERY SAMPAH PLASTIK JENIS PET & HDPE SEBAGAI
BAHAN BAKAR ALTERNATIF MENGGUNAKAN METODE
DESTILASI BERTINGKAT**



**OLEH :
FERDI CANDRA
11.26.026**

**JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
MALANG**

2015

1974-12

THE FOLLOWING INFORMATION IS FOR THE USE OF THE
OFFICE OF THE DIRECTOR, FBI, AND IS NOT TO BE
DISSEMINATED OUTSIDE THE FBI.

RE: MURDER
OF MARTIN LUTHER KING, JR.
44-38861-11

RE: MURDER OF MARTIN LUTHER KING, JR.
RE: MURDER OF MARTIN LUTHER KING, JR.
RE: MURDER OF MARTIN LUTHER KING, JR.

44-38861-11

PAGE

44-38861-11

LEMBAR PERSETUJUAN

SKRIPSI

**UPAYA RECOVERY SAMPAH PLASTIK JENIS PET & HDPE SEBAGAI
BAHAN BAKAR ALTERNATIF MENGGUNAKAN METODE DESTILASI
BERTINGKAT**

Oleh :

FERDI CANDRA 11.26.026

**Menyetujui,
Dosen Pembimbing**

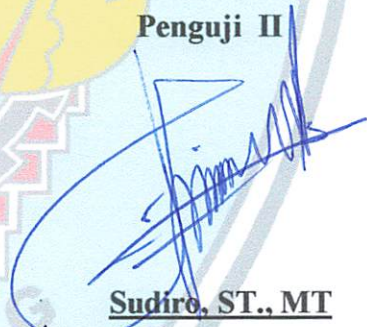
Penguji I



Anis Artiyani, ST., MT

NIP. Y. 1030300384

Penguji II



Sudiro, ST., MT

NIP. Y. 1039900327

Ketua Jurusan Teknik Lingkungan



Candra Dwi Ratna, ST. MT

NIP. Y. 1030000349

LEMBAR PERSETUJUAN

SKRIPSI

**UPAYA RECOVERY SAMPAH PLASTIK JENIS PET & HDPE SEBAGAI
BAHAN BAKAR ALTERNATIF MENGGUNAKAN METODE DESTILASI
BERTINGKAT**

Oleh :

FERDI CANDRA 11.26.026

**Menyetujui,
Dosen Pembimbing**

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Ir. Hery Setyobudiarso, M.Si

NIP. 196106201991031001

M.Istnaeny Hudha, ST. MT

NIP. P. 1030400400

Ketua Jurusan Teknik Lingkungan



Candra Dwi Ratna, ST. MT

NIP. Y. 1030000349



FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MEGISTER TEKNIK

ERSERO) MALANG
VIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No.2 Telp. (0341)551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp.(0341)417636 Fax. (0341) 417634 Malang65145

BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

NAMA : FERDI CANDRA

NIM : 11.26.026

JURUWSAN : TEKNIK LINGKUNGAN

JUDUL : UPAYA RECOVERY SAMPAH PLASTIK JENIS PET &
HDPE SEBAGAI BAHAN BAKAR ALTERNATIF
MENGUNAKAN METODE DESTILASI BERTINGKAT

Dipertahankan dihadapan Tim Penguji Ujian Skripsi Jenjang Program Strata Satu
(S-1), pada :

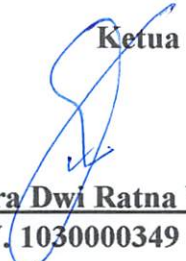
Hari : Sabtu

Tanggal : 5 September 2015

Dengan Nilai : 77,82 (B+)

PANITIA UJIAN SKRIPSI

Ketua


Candra Dwi Ratna W, ST., MT
NIP.Y. 1030000349

Sekretaris

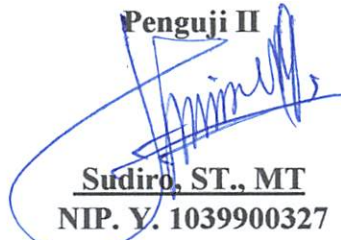

Anis Artiyani, ST., MT
NIP.Y. 1030300384

PENGUJI SKRIPSI

Penguji I


Anis Artiyani, ST., MT
NIP.Y. 1030300384

Penguji II


Sudiro, ST., MT
NIP. Y. 1039900327

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penyusun dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul ***“UPAYA RECOVERY SAMPAH PLASTIK JENIS PET & HDPE SEBAGAI BAHAN BAKAR ALTERNATIF DENGAN METODE DESTILASI BERTINGKAT”*** ini tepat pada waktunya.

Skripsi ini disusun setelah melalui proses penelitian, analisa data dan pembahasan. Skripsi ini dapat terselesaikan berkat bantuan, kerja sama dan bimbingan dari semua pihak. Dalam kesempatan ini penyusun mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada yang terhormat :

1. Ayah dan Ibu serta segenap keluarga tercinta yang selalu memberikan semua dukungan, perhatian, kekuatan dan doa serta memberikan hidup ini lebih berarti untukku.
2. Ibu Candra Dwiratna, ST. MT., selaku ketua jurusan Teknik Lingkungan ITN Malang yang telah memberikan masukan dan saran demi kesempurnaan laporan skripsi ini.
3. Ibu Anis Artiyani, ST. MT., selaku seketaris jurusan Teknik Lingkungan ITN Malang yang telah memberikan masukan dan saran demi kesempurnaan laporan skripsi ini.
4. Bapak Dr.Ir. Hery Setyobudiarso, M.,Si., selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan bimbingan, masukan dan saran demi kesempurnaan laporan skripsi ini.
5. Bapak M.Istnaeny Hudha, ST. MT., selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, masukan dan saran demi kesempurnaan laporan skripsi ini.
6. Bapak Sudiro, ST. MT., selaku dosen Teknik Lingkungan ITN Malang yang telah memberikan masukan dan saran demi kesempurnaan laporan skripsi ini.

7. Dosen-dosen pengajar dan staf Jurusan Teknik Lingkungan ITN Malang.
8. Teman-teman Teknik Lingkungan sepejuangan Angkatan 2011 yang telah membantu dan memberi dukungan dalam penyusunan laporan skripsi ini.
9. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Lingkungan dan semua pihak yang telah ikut membantu dalam proses penyelesaian laporan skripsi ini.

Kesadaran akan masih banyaknya kekurangan atas laporan ini, membuat penyusun berharap akan adanya masukan dan saran yang sifatnya membangun demi kesempurnaan skripsi yang kami susun.

Akhirnya penyusun berharap Laporan Skripsi ini dapat bermanfaat bagi almamater, khususnya rekan-rekan mahasiswa Teknik Lingkungan ITN Malang dan masyarakat luas pada umumnya.

Malang, Agustus 2015

Penyusun

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	i
ABSTRAKSI	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	viii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Perencanaan	3
1.5 Ruang Lingkup	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Plastik.....	4
2.2.1 Komposisi Plastik	4
2.2.2 Jenis Plastik	9
2.2 Pengolahan Sampah Plastik.....	28
2.3.1 Pirolisis.....	29
2.3.2 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Pirolisis.....	30
2.3.3 Destilasi Bertingkat atau Fraksinasi.....	33
2.3 Pengujian Minyak Pirolisis.....	35
2.3.1 Viskositas.....	35
2.3.2 Densitas.....	37
2.4.3 Nilai Kalor.....	39
2.4 Gas Cromatografy Mass Spectrometry (GCMS).....	40
2.4.1 Instrumentasi Cromatografy Mass Spectrometry (GCMS).....	41
2.4.1 Prinsip Kerja Cromatografy Mass Spectrometry (GCMS).....	43
2.5 Metode Pengolahan Data.....	46
2.5.1 Statistik Deskriptif dan Inferensi.....	46
2.5.2 Analisis Kolerasi.....	46
2.5.3 Analisis Regresi.....	46

2.5.4 <i>Analysis of variance</i> (ANOVA).....	49
BAB III METODE PERENCANAAN	
3.1 Jenis Penelitian.....	51
3.2 Lokasi Penelitian.....	51
3.3 Alat dan Bahan Penelitian.....	51
3.3.1 Alat.....	51
3.3.2 Bahan.....	53
3.4 Variabel Penelitian.....	53
3.5 Pelaksanaan Penelitian.....	54
3.5.1 Persiapan Bahan.....	54
3.5.2 Persiapan Alat.....	55
3.5.3 Pengujian Sampel Awal.....	55
3.5.4 Tahap Operasional.....	56
3.6 Analisis Parameter Uji.....	56
3.7 Analisa Data.....	58
3.8 Kerangka Penelitian.....	60
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	
4.1 Analisis Data.....	61
4.1.1 Hasil Pengamatan Penelitian.....	61
4.1.2 Hasil Analisis.....	62
4.2 Analisis Deskriptif.....	64
4.2.1 Hubungan Antara Suhu Terhadap Volume Minyak pada Sampah Plastik Jenis PET dan HDPE dengan Berbagai Tekanan.....	64
4.2.2 Pengaruh Suhu Dan Tekanan Terhadap Densitas Sampah Plastik Jenis PET Dan Sampah Plastik HDPE.....	65
4.2.3 Pengaruh Suhu Dan Tekanan Terhadap Viskositas Sampah Plastik Jenis PET Dan Sampah Plastik HDPE.....	66
4.2.4 Pengaruh Suhu Dan Tekanan Terhadap Nilai Kalor Sampah Plastik Jenis PET Dan Sampah Plastik HDPE.....	67
4.3 Pembahasan.....	68
4.3.1 Korelasi Pengaruh Suhu Dan Tekanan Terhadap Nilai Kalor.....	68
4.3.2 Korelasi Densitas Dan Viskositas Terhadap Nilai Kalor.....	70
4.3.3 Perbandingan Hasil Analisis dengan baku mutu.....	72

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN..... 75

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Simulasi bentuk kristalin dan amorf pada pembentukan polimer.....	5
Gambar 2.2 Thermo-Hydrometer.....	38
Gambar 3.1 Alat Aerometer.....	57
Gambar 3.2 Alat Viskometer.....	57
Gambar 3.3 Alat Kalorimeter Bom.....	58
Gambar 3.4 Alat GC-MS.....	58
Gambar 3.4 Diagram Alir Kerangka Penelitian.....	60
Gambar 4.1 Hubungan Antara Suhu Terhadap Volume Minyak Sampah Pada Berbagai Tekanan.....	65
Gambar 4.2 Densitas (Gram/ml) Minyak Sampah Plastik.....	66
Gambar 4.3 Viskositas (Cst) Minyak Sampah Plastik.....	67
Gambar 4.4 Nilai Kalor (CaloriGram) Minyak Sampah Plastik.....	68

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Jenis-Jenis dan Sifat Plastik Berdasarkan Tipenya.....	9
Tabel 2.2 Jenis – Jenis Plastik Berdasarkan Temperatur Leleh.....	10
Tabel 2.3 Karakteristik Beberapa Senyawa Dalam Kemasan Yang Terbuat Dari Material Plastik.....	11
Tabel 2.4 Beberapa jenis selopan dan penggunaanya.....	20
Tabel 2.5 Karakteristik Bahan Bakar Sampah Plastik <i>Polietilena</i>	30
Tabel 2.6 Viskositas beberapa Fluida.....	36
Tabel 2.7 Massa Jenis Berbagai Fluida.....	37
Tabel 2.8 Densitas Bahan Bakar dan Kepekatan Yang Berbeda.....	38
Tabel 2.9 Nilai Kalor Berbagai Macam Bahan Bakar.....	39
Tabel 4.1 Nilai Data Hasil Pengamatan Penelitian.....	61
Tabel 4.2 Densitas Minyak Hasil Destilasi Bertingkat Sampah Plastik.....	62
Tabel 4.3 Viskositas Minyak Hasil Destilasi Bertingkat Sampah Plastik.....	62
Tabel 4.4 Nilai Kalor Minyak Hasil Destilasi Bertingkat Sampah Plastik.....	63
Tabel 4.5 Kandungan senyawa-senyawa pada sampah plastik PET dan HDPE.....	64

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peningkatan kuantitas sampah kota merupakan konsekuensi logis dari perkembangan kota, salah satunya sampah plastik. Peningkatan penggunaan plastik untuk keperluan rumah tangga berdampak negatif terhadap lingkungan karena tidak dapat terurai dengan cepat dan dapat menurunkan kesuburan tanah. Pada umumnya sampah plastik memiliki komposisi 46% *polyethylene* (HDPE dan LDPE), 16% *polypropylene* (PP), 16% *polystyrene* (PS), 7% *polyvinyl chloride* (PVC), 5% *polyethylene terephthalate* (PET), 5% *acrylonitrile-butadiene-styrene* (ABS), dan 5% polimer-polimerlainnya (Surmani,2008). Dari data Kementerian Lingkungan Hidup tahun 2012, jumlah sampah di 14 kota besar di Indonesia mencapai 1,9 juta ton. Adapun, jumlah limbah plastik secara umum pada tahun 2013 sebanyak 53% dari jumlah sampah yang ada.

Beberapa cara telah dilakukan untuk mengolah sampah plastik, baik melalui proses fisik yaitu pengumpulan dan menggunakan kembali sampah yang dibuang maupun proses kimiawi yang telah dilakukan seperti memecah rantai polimer plastik (*depolymerization*). Produk yang dihasilkan dari metode pemecahan rantai polimer tersebut di atas umumnya menghasilkan sekitar 70-80% cairan dan 5-10% gas. Produk cair mengandung nafta dan komponen lain dengan titik didih 36 - 270°C yang potensial untuk diolah kembali menjadi fraksi yang lebih bernilai ekonomi tinggi seperti bensin (Sakata *et al.*, 1996; Joo and Guin, 1997). Metode pemecahan rantai polimer diantaranya yaitu pirolisis yang merupakan proses peruraian suatu bahan pada suhu tinggi tanpa adanya udara atau dengan udara terbatas (Agra,1985).

Penelitian yang dilakukan oleh Siti Anggraini (2014) tentang pemanfaatan sampah plastik botol air mineral dan sampah kantong plastik sebagai bahan bakar alternatif dengan metode pirolisis, dapat diketahui densitas minyak terbaik terdapat pada minyak sampah botol air mineral. Densitas minyak sampah botol air

mineral adalah 0,731 Kg/L dan setelah dilakukannya destilasi densitasnya menjadi 0,725 Kg/L. Sedangkan, densitas minyak kantong plastik adalah 0,902 Kg/L dan setelah dilakukannya destilasi densitasnya menjadi 0,901 Kg/L.

Penelitian yang dilakukan Aprian Ramadhan P. dan Munawar Ali (2012), bahwa efisiensi yang terbaik dari hasil dekomposisi sampah plastik jenis LDPE dan HDPE pada suhu 420°C dengan waktu operasi 60 menit dan minyak pirolisis dari sampah plastik ini memiliki karakteristik yang tidak jauh berbeda dengan dengan karakteristik minyak diesel.

Penelitian yang dilakukan Febri (2013), bahwa plastik jenis LDPE yaitu botol infuse dapat diolah menjadi bahan bakar cair dengan metode pirolisis. Katalis yang baik dan efektif digunakan dalam proses ini adalah katalis Al_2O_3 , dengan jumlah minyak yang dihasilkan sebanyak 11 mL dari 20 gr sampel, dengan lama waktu 150 menit dan suhu degradasi antara 120-160°C.

Berdasarkan dari beberapa penelitian bahwa potensi sampah plastik untuk menjadi bahan bakar cair sangat baik. Namun, minyak dari plastik bekas ini memiliki sifat tidak jenuh (Purwanti Ani dan Sumarni, 2008). Minyak pirolisis ini dapat diolah lagi supaya mempunyai sifat jenuh dan stabil (Boy Macklin Pareira, 2009). Salah satu pengolahan minyak mentah dengan destilasi (Anonim, 2014). Semakin, sering destilasi dilakukan semakin sedikit komponen air yang terkandung dalam bahan (I Made, 2012). Berdasarkan hal tersebut dilakukannya penelitian ini mengenai upaya recovery sampah plastik yang berupa sampah plastik jenis *polyetheylene terephthalate* (PET) dan sampah kantong plastik jenis *high density polyethylene* (HDPE) menjadi minyak sebagai bahan bakar alternatif yang dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan energi dalam kehidupan sehari-hari.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana kualitas produk minyak dari proses destilasi bertingkat ?
2. Bagaimana komposisi suhu dan tekanan rendah terbaik dari hasil destilasi bertingkat ?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui kualitas produk minyak dari proses destilasi bertingkat.
2. Mengetahui Komposisi suhu dan tekanan rendah terbaik dari hasil destilasi bertingkat.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi dalam mengurangi jumlah timbulan sampah yang ada saat ini khususnya penanganan sampah anorganik seperti sampah plastik jenis PET dan sampah plastik jenis HDPE didaur ulang menjadi minyak sebagai bahan bakar alternatif yang dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan energi dalam kehidupan sehari-hari.

1.5 Batasan dan Ruang Lingkup Penelitian

Adapun batasan dan ruang lingkup demi tercapainya tujuan dan sasaran penelitian. Mengingat keterbatasan waktu, dana yang tersedia, maka penelitian ini dibatasi oleh hal-hal sebagai berikut :

1. Lokasi Penelitian di Laboratorium Teknik Lingkungan Kota Malang.
2. Penelitian ini difokuskan pada pemanfaatan sampah plastik jenis *polyethylen terephthalate* (PET) dan sampah plastik jenis *High Density Polyethylene* (HDPE).
3. Jenis sampah plastik yang digunakan sebagai berikut:
 - Botol air mineral, botol jus, wadah selai, botol plastik kecap dan saus. (Sampah Jenis PET)
 - Wadah es krim, wadah shampoo, wadah sabun cair, tutup plastik (Sampah Jenis HDPE)
4. Uji karakteristik minyak antara lain yaitu massa jenis, viskositas, nilai kalor dan gc-ms.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Plastik

Plastik adalah polimer rantai-panjang dari atom yang mengikat satu sama lain. Rantai ini membentuk banyak unit molekul berulang, atau "monomer". Istilah plastik mencakup produk polimerisasi sintetik atau semi-sintetik, namun ada beberapa polimer alami yang termasuk plastik. Plastik terbentuk dari kondensasi organik atau penambahan polimer dan bisa juga terdiri dari zat lain untuk meningkatkan performa atau ekonomi.

(Sumber: Anonim, 2013)

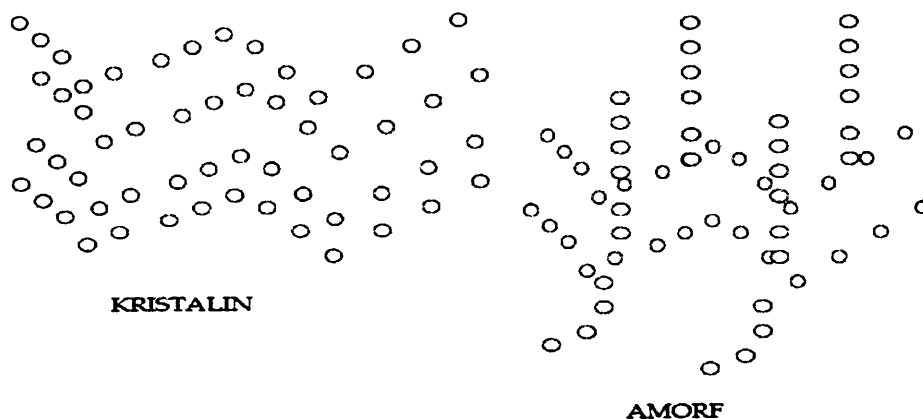
2.1.1 Komposisi Plastik

Seluruh plastik terbuat dari karbon. Plastik buatan menggunakan karbon dari turunan minyak bumi, namun biopolimer atau bioplastik menggunakan karbon sebagai hasil turunan dari material alami. Karbon sangat penting karena memiliki keunikan yaitu dapat bergabung antar sesamanya dengan berbagai cara. Karbon dapat membentuk ikatan tunggal, ikatan rangkap dan ikatan triple dengan dirinya sendiri (sharing elektron antara dua atom). Atom-atom karbon dalam senyawa memiliki empat ikatan yang mengitarinya. Atom karbon dapat bergabung membentuk rantai linier, rantai bercabang atau rantai melingkar. Atom karbon selalu bergabung dengan atom hidrogen dan atom oksigen, tapi juga dapat membentuk ikatan dengan atom atom lainnya seperti nitrogen, fosfor dan klorine. Senyawa karbon bisa kecil seperti molekul sederhana methane atau besar berupa molekul kompleks seperti protein dan plastik atom-atom karbon dalam monomer monomer yang mengandung karbon membuat ikatan ikatan dengan atom karbon lainnya dalam monomer monomer lainnya dengan berbagai cara untuk membentuk plastik. Tipe monomer dan cara monomer itu tersusun akan menghasilkan sifat kimia yang berbeda untuk berbagai plastik.

Bahan pembuat plastik pada mulanya adalah minyak dan gas sebagai sumber alami, tetapi di dalam perkembangannya bahan-bahan ini digantikan dengan bahan sintesis sehingga dapat diperoleh sifat-sifat plastik yang diinginkan dengan cara kopolimerisasi, laminasi dan ekstruksi. Komponen utama plastik sebelum membentuk polimer adalah monomer yang merupakan bagian atau rantai paling pendek contohnya, plastik polivinil klorida mempunyai monomer vinil klorida. Vinil klorida di samping bahan dasar berupa monomer plastik, maka terdapat bahan-bahan tambahan non plastik atau bahan aditif yang diperlukan untuk memperbaiki sifat-sifat plastik. Bahan-bahan aditif dalam pembuatan plastik ini merupakan bahan dengan berat molekul rendah, yaitu berupa pemlastis, antioksidan, antiblok, antistatis, pelumas, penyerap sinar ultraviolet, bahan pengisi dan penguat. Bahan-bahan pembuat plastik diantaranya sebagai berikut:

1. Monomer

Beberapa monomer dipolimerisasi membentuk polimer dengan rantai yang sangat panjang. Rantai tersebut dikelompokkan secara bersama-sama dalam suatu pola yang acak maka akan terbentuk suatu tumpukan yang menyerupai tumpukan jerami dan disebut dengan bentuk amorf, tetapi jika tumpukan tersebut teratur dan hampir sejajar maka bentuknya disebut kristalin dengan sifat yang lebih keras dan tegar contohnya, polietilen mempunyai massa jenis berkisar antara 0.900-0.980 tergantung derajat kristalinitasnya.



Gambar 2.1. Simulasi bentuk kristalin dan amorf pada pembentukan polimer
(Sumber: Anonim,2013)

Berdasarkan struktur kimianya, maka polimer dari plastik dibedakan atas :

1. Linier, bila monomer membentuk rantai polimer yang lurus, dan akan terbentuk plastik thermoplastik yang mempunyai sifat meleleh pada suhu tertentu, melekat mengikuti perubahan suhu dan sifatnya yang dapat balik (*reversible*) yaitu dapat kembali mengeras bila didinginkan.
2. Jaringan tiga dimensi, bila monomer berbentuk tiga dimensi akibat polimerisasi berantai, akan terbentuk plastik termoseting yang bersifat tidak dapat mengikuti perubahan suhu dan *irreversibel*. Bila plastik termoseting yang mengeras dipanaskan maka bahan tidak dapat lunak kembali, tetapi akan membentuk arang dan terurai. Jenis plastik ini sering digunakan sebagai tutup ketel seperti jenis-jenis melamin.

Proses polimerisasi yang menghasilkan polimer berantai lurus mempunyai tingkat polimerisasi yang rendah dan kerangka dasar yang mengikat antar atom karbon dan ikatan antar rantai lebih besar daripada rantai hidrogen. Bahan yang dihasilkan dengan tingkat polimerisasi rendah bersifat kaku dan keras.

2. Kopolimer

Gabungan dari dua jenis monomer yang berbeda disebut dengan kopolimer, dimana bagian yang terbanyak disebut dengan monomer dasar dan bagian yang kecil disebut komonomer. Contoh kopolimer adalah :

a. Etilen-Vinil Asetat (EVA)

EVA mengandung 20% vinil asetat, dan mempunyai sifat yang mirip dengan polietilen densitas rendah, tetapi lebih transparan dan luwes pada suhu rendah. Kekurangan EVA adalah daya permeabilitasnya terhadap uap air dan gas tinggi.

b. Kopolimer Vinil Klorida (VC)

Vinil klorida mempunyai sifat aliran yang baik, dan digunakan untuk bahan film atau untuk melindungi bahan yang memerlukan permeabilitas terhadap uap air dan gas yang rendah. Kopolimer vinil klorida sering mengalami kopolimerisasi dengan vinil asetat, viniliden klorida, polipropilen dan akrilonitril (vinil sianida). Kopolimer vinil klorida

dengan polipropilen sebanyak 10% biasanya digunakan dalam pembuatan botol plastik.

c. *Kopolimer Polistiren*

Kopolimer polistiren terdiri dari monomer stiren, akrilonitril dan butadiene dengan jumlah yang bervariasi. Kopolimer stiren dan akrilonitril digunakan untuk peralatan dapur, botol dan sumbat. Kopolimer akrilonitril butadien stiren (ABS) digunakan untuk tube, baki, kotak dan dinding lemari es. Akrilonitril dan butadiene dapat meningkatkan daya tahan terhadap pukulan. Resin nitril yang tinggi dapat meningkatkan sifat perlindungan terhadap gas sehingga cocok digunakan untuk wadah minuman berkarbonasi, bir dan air mineral.

3. *Bahan Pemlastis (Plastisizer)*

Bahan pemlastis (*plastisizer*) adalah bahan organik dengan berat molekul rendah yang ditambahkan dengan maksud memperlemah kekakuan dari polimer, meningkatkan fleksibilitas dan ekstensibilitas polimer. Bahan pemlastis larut dalam tiap-tiap rantai polimer sehingga akan mempermudah gerakan molekul polimer dan bekerja menurunkan suhu transisi gelas, suhu kristalisasi atau suhu pelelehan dari polimer. Mekanisme kerja plastisizer pada resin adalah memisahkan rantai melalui pemutusan ikatan yaitu ikatan hidrogen dan ikatan van der Waals atau ikatan ion, yang menyebabkan rantai polimer bersatu dan melapisi tenaga di tengahnya melalui pembentukan ikatan polimer-plastisizer. Kemudian kelompok *polymer-phylic* akan memperbaiki kelarutannya, sedangkan kelompok *polymer-phobic* memperbaiki pengaruhnya. Beberapa jenis bahan pemlastis yang digunakan dalam pembuatan plastik adalah :

- Dibutil ptalat (DBP)
- Dioktil ptalat (DOP)
- Dietil heptil adipat (DEHA)
- Trikresil ptalat (TCP)
- Poliester
- Heptil patalat

- Dimetil heptil adipat
- Di –N-desil adipat
- Benzil aktil adipat
- Ester asam sitrat
- Oleat
- Sitrat

4. Antioksidan

Antioksidan ditambahkan dalam proses pembuatan plastik untuk mencegah degradasi polimer akibat terjadinya oksidasi, baik pada saat pencetakan wadah maupun pada saat penggunaan wadah, serta mencegah perapuhan selama penyimpanan contohnya, antioksidan dalam pembuatan plastik adalah turunan fenol, sulfida organik dan Irganox 1076.

5. Antiblok

Bahan antiblok adalah bahan yang digunakan untuk membuat permukaan menjadi kasar sehingga tidak lengket satu sama lain. Contoh bahan antiblok pada proses pembuatan plastik adalah silika, asam lemak amida.

6. Antistatik

Plastik adalah isolator listrik yang baik, sehingga dapat menahan muatan listrik yang dihasilkan dari gesekan dengan mesin pengolahan, akibatnya terjadi akumulasi listrik statis , dan ini dapat menimbulkan masalah, misalnya dapat menarik debu, saling tarik menarik antara lembaran plastik, kejutan listrik atau bahkan kebakaran. Bahan antistatis dapat meningkatkan daya konduktifitas listrik. Bahan antistatik yang ditambahkan misalnya turunan glikol (glikol polietilen) anamonium kuartener.

7. Pelumas

Pelumas berfungsi untuk mengurangi gaya gesekan. Syarat-syarat bahan pelumas untuk pembuatan plastik adalah mempunyai kelarutan yang baik dalam plastik, stabil dan volatilitasnya rendah. Bahan yang biasanya digunakan sebagai pelumas adalah hidrokarbon dengan berat molekul rendah hingga menengah.

8. Bahan Penyerap Cahaya

Bahan penyerap cahaya berfungsi untuk melindungi kemasan dari cahaya matahari atau lampu, terutama jika plastik tersebut akan digunakan untuk mengemas bahan yang peka terhadap cahaya seperti vitamin C contohnya, bahan penyerap cahaya adalah Tinuvin P, Tinuvin 326, organotin (timah organik) dan Di-n-octyl-tinmercaptide.

9. Bahan Pengisi dan Penguat

Bahan pengisi berfungsi untuk memperkuat kemasan plastik yang dihasilkan dengan cara pengerasan oleh bahan berserat, meningkatkan kekakuan, dan menekan harga jika bahan pengisi tersebut lebih murah daripada harga resinnya contohnya, bahan pengisi adalah kapas, serbuk kayu, serat gelas dan lain-lain.

(Sumber: Anonim,2013)

2.1.2 Jenis Plastik

Pada tingkat bandar, lapak, dan sebagainya, masih saja kesulitan dalam membedakan jenis plastik sebab secara fisik banyak sekali kemiripan fisik walaupun sebenarnya berupa jenis plastik yang berbeda. Untuk kemasan produk yang dapat didaur ulang terdapat tanda tiga anak panah melingkar dan didalamnya memiliki nomor tertentu dari angka 1 sampai 7 sesuai dengan jenis masing-masing plastik. Berikut tabel karakteristik beberapa senyawa dalam kemasan yang terbuat dari material plastik.

Tabel 2.1. Jenis – Jenis dan Sifat Plastik Berdasarkan Tipenya

Tipe Plastik	Media Air	Media Minyak
PET (<i>Polyethylene Terephtalate</i>)	Terapung	Terapung
HDPE (<i>High Density Polyethylene</i>)	Terapung	Terapung
LDPE (<i>Low Density Polyethylene</i>)	Terapung	Terapung
PVC (<i>Polyvinyl Chloride</i>)	Tenggelam	Tenggelam
PP (<i>Polypropylene</i>)	Tenggelam	Tenggelam
PS (<i>Polystyrene</i>)	Terapung	Terapung

(Sumber: Bachriansyah, S. 1997)

Tabel 2.2. Jenis – Jenis Plastik Berdasarkan Temperatur Leleh

Tipe Plastik	Titik Leleh
PET (<i>Polyethylene Terephthalate</i>)	70 ⁰ C – 80 ⁰ C
HDPE (<i>High Density Polyethylene</i>)	70 ⁰ C – 80 ⁰ C
LDPE (<i>Low Density Polyethylene</i>)	70 ⁰ C – 80 ⁰ C
PVC (<i>Polyvinyl Chloride</i>)	70 ⁰ C – 100 ⁰ C
PP (<i>Polypropylene</i>)	60 ⁰ C – 70 ⁰ C
PS (<i>Polystyrene</i>)	80 ⁰ C – 95 ⁰ C

(Sumber: Bachriansyah, S. 1997)

Klasifikasi utama berdasarkan pertimbangan ekonomis dan kegunaannya yaitu plastik komoditi dan plastik teknik. Plastik komoditi dicirikan dengan volumenya yang tinggi dan harga yang murah, mereka sering digunakan dalam bentuk barang yang bersifat pakai buang (*disposable*) seperti lapisan pengemas. Plastik teknik lebih mahal harganya dan volumenya lebih rendah, tetapi memiliki sifat mekanik yang unggul dan daya tahan yang lebih baik. Plastik komoditi yang utama adalah polietilena, polipropilena, poli(*vinil klorida*), dan polistirena. Plastik teknik yang utama adalah poliamida, polikarbonat, poliester dan sebagainya. Hampir semua plastik yang disebutkan merupakan termoplastik (Bachriansyah, S. 1997).

Menurut Erliza dan Sutedja (1987), plastik dapat dikelompokkan atas dua tipe, yaitu thermoplastik dan termoset. Thermoplastik adalah plastik yang dapat dilunakkan berulang kali dengan menggunakan panas, antara lain polietilen, polipropilen, polistiren dan polivinilklorida. Sedangkan termoset adalah plastik yang tidak dapat dilunakkan oleh pemanasan, antara lain *phenol formaldehid* dan *urea formaldehid*. Syarief *et al.*, (1989), membagi plastik menjadi dua berdasarkan sifat-sifatnya terhadap perubahan suhu, yaitu:

- a) Termoplastik meleleh pada suhu tertentu, melekat mengikuti perubahan suhu dan mempunyai sifat dapat balik (*reversibel*) kepada sifat aslinya, yaitu kembali mengeras bila didinginkan.
- b) Termoset tidak dapat mengikuti perubahan suhu (*irreversibel*). Bila sekali pengerasan telah terjadi maka bahan tidak dapat dilunakkan kembali. Pemanasan yang tinggi tidak akan melunakkan termoset melainkan akan

membentuk arang dan terurai karena sifatnya yang demikian sering digunakan sebagai tutup ketel, seperti jenis-jenis melamin.

Tabel 2.3. Karakteristik Beberapa Senyawa Dalam Kemasan Yang Terbuat Dari Material Plastik

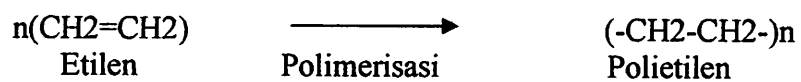
Nama Senyawa	Kode	Penggunaan	Sifat Bahan	Saran Penanganan
PET Polyethylene Terephthalate		Botol minuman, <i>tray</i> biskuit, wadah selai <i>peanut butter</i> , wadah kosmetik.	Jernih (tembus pandang), kuat, tahan pelarut, kedap gas dan cairan, melembek pada suhu 80°C	Hati-hati dengan kemasan dengan kode No. 1. Didesain hanya untuk <i>single use</i> . Penggunaan lebih dari sekali meningkatkan risiko <i>leaching</i> dan pertumbuhan bakteri.
HDPE High Density Polyethylene		Tas plastik belanja (<i>grocery bags</i>), botol pengemas susu cair dan <i>juice</i> , <i>shampoo</i> , sabun cair, wadah <i>ice cream</i> .	Keras sampai semi fleksibel, tahan terhadap bahan-bahan kimia dan cairan, permukaan berilin (<i>waxy</i>), buram (<i>opaque</i>), melembek pada suhu 75°C, mudah diwarnai, diproses dan dibentuk.	Sejauh ini dianggap aman (<i>appears to be safe</i>).
PVC Polyvinyl Chloride		Pembungkus pangan (<i>food wrap</i> , <i>meat wrap</i>), botol minyak sayur, kantung darah.	Kuat, keras, bisa jernih (tembus pandang), dapat diubah bentuknya menggunakan pelarut, melembek pada suhu 80°C	Sebaiknya dihindari. Memiliki julukan " <i>the Poison Plastic</i> ", mengandung sejumlah racun berbahaya.
LDPE Low Density Polyethylene		Tas plastik belanja toko dan <i>department store</i> , kantong roti dan bahan pangan segar, pembungkus pangan. Botol yang dapat ditekan (<i>squeezable bottles</i>).	Lunak, fleksibel, permukaan berilin (<i>waxy</i>), tidak jernih tapi tembus sinar (<i>translucent</i>), melembek pada suhu 70°C, mudah tergores.	Sejauh ini dianggap aman (<i>appears to be safe</i>).
PP Polypropylene		Botol obat, kantong <i>chips</i> kentang, krat <i>cereal</i> , sedotan, pita perekat kemasan.	Keras tapi fleksibel, permukaan berilin (<i>waxy</i>) surface, softens at 140°C, tidak jernih tapi tembus sinar (<i>translucent</i>), tahan pelarut.	Sejauh ini dianggap aman (<i>appears to be safe</i>).
PS Polystyrene		CD, pisau plastik, kemasan <i>foam</i> , karton telur.	Jernih, berkaca (<i>glassy</i>), kaku, mudah patah, buram (<i>opaque</i>), melembek pada suhu 95°C, terpengaruh oleh lemak dan pelarut.	Sebaiknya dihindari. Dapat melepaskan <i>styrene</i> , senyawa yang diduga karsinogen dan pengganggu hormon (<i>endocrine disruptor</i>).
OTHER Huruf-huruf di bawah logo menunjukkan kode ISO untuk jenis plastik, seperti SAN, ABS, PC, Nylon		Botol bayi, botol pendingin air, suku cadang mobil.	Mencakup semua resin lain dan material majemuk (contoh: <i>laminates</i>). Sifat tergantung pada plastik atau kombinasi plastik yang digunakan.	Dapat dipergunakan dengan hati-hati. Yang dikhawatirkan adalah pelepasan (<i>leaching</i>) Bisphenol A yang diduga memicu kerusakan kromosom.

(Sumber: www.plastic.org.nz, 2013)

Beberapa jenis kemasan plastik yang dikenal adalah polietilen, polipropilen, poliester, nilon dan vinil film. Jenis plastik yang banyak digunakan untuk berbagai tujuan (60% dari penjualan plastik yang ada di dunia) kemasan adalah polistiren, polietilen dan polivinil klorida. Jenis plastik tersebut diantaranya sebagai berikut:

1. Polietilen

Polietilen adalah polimer dari monomer etilen yang dibuat dengan proses polimerisasi adisi dari gas etilen yang diperoleh dari hasil samping industri minyak dan batubara. Proses polimerisasi dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu polimerisasi dalam bejana bertekanan tinggi (1000-300 atm) menghasilkan molekul makro dengan banyak percabangan yakni campuran dari rantai lurus dan bercabang. Cara kedua, polimerisasi dengan bejana bertekanan rendah (10-40 atm) menghasilkan molekul makro berantai lurus dan tersusun paralel. Reaksi yang terjadi adalah :



Polietilen merupakan film yang lunak, transparan dan fleksibel, mempunyai kekuatan benturan dan kekuatan sobek yang baik. Pemanasan polietilen akan menyebabkan plastik ini menjadi lunak dan cair pada suhu 110°C. Sifat permeabilitasnya yang rendah dan sifat mekaniknya yang baik, maka polietilen dengan ketebalan 0.001 – 0.01 inchi banyak digunakan untuk mengemas bahan pangan. Plastik polietilen termasuk golongan termoplastik sehingga dapat dibentuk menjadi kantung dengan derajat kerapatan yang baik. Berdasarkan densitasnya, maka plastik polietilen dibedakan atas:

a. Polietilen densitas rendah (LDPE= *Low Density Polyethylene*)

LDPE dihasilkan dengan cara polimerisasi pada tekanan tinggi, mudah dikelim dan harganya murah. Dalam perdagangan dikenal dengan nama alathon, dylan dan fortiflex. Kekakuan dan kuat tarik dari LDPE lebih rendah daripada HDPE (modulus Young 20.000-30000 psi, dan kuat tarik 1200-2000 psi), tapi karena LDPE memiliki derajat elongasi yang tinggi

(400-800%) maka plastik ini mempunyai kekuatan terhadap kerusakan dan ketahanan untuk putus yang tinggi. Titik lelehnya berkisar antara 105-115°C. Digunakan untuk film, mangkuk, botol dan wadah atau kemasan.

- b. Polietilen densitas menengah (MDPE = *Medium Density Polyethylene*)
MDPE lebih kaku dari LDPE dan titik lelehnya lebih tinggi dari LDPE, yaitu antara 115-125°C, mempunyai densitas 0.927-0.940 g/cm³.
- c. Polietilen Densitas Tinggi (HDPE = *High Density Polyethylene*)
HDPE dihasilkan dengan cara polimerisasi pada tekanan dan suhu yang rendah (10 atm, 50-70°C). HDPE lebih kaku dibanding LDPE dan MDPE, tahan terhadap suhu tinggi sehingga dapat digunakan untuk produk yang akan disterilisasi. Dalam perdagangan dikenal dengan nama alathon, alkahtene, blapol, carag, fi-fax, hostalon.
- d. *Linear-low-density polyethylene* (LLDPE) yaitu kopolimer etilen dengan sejumlah kecil butana, heksana atau oktana, sehingga mempunyai cabang pada rantai utama dengan interval (jarak) yang teratur. LLDPE lebih kuat daripada LDPE dan sifat *heat sealing*-nya juga lebih baik.

Sifat-sifat polietilen adalah:

- penampakkannya bervariasi dari transparan, berminyak sampai keruh (translucid) tergantung proses pembuatan dan jenis resin.
- fleksible sehingga mudah dibentuk dan mempunyai daya rentang yang tinggi.
- *heat seal* (dapat dikelim dengan panas), sehingga dapat digunakan untuk laminasi dengan bahan lain. titik leleh 120°C.
- tahan asam, basa, alkohol, deterjen dan bahan kimia.
- kedap terhadap air, uap air dan gas.
- dapat digunakan untuk penyimpanan beku hingga suhu -50°C.
- transmisi gas tinggi sehingga tidak cocok untuk pengemasan bahan yang beraroma.
- tidak sesuai untuk bahan pangan berlemak

- mudah lengket sehingga sulit dalam proses laminasi, tapi dengan bahan antiblok sifat ini dapat diperbaiki.
 - dapat dicetak
 - kemasan polietilen banyak digunakan untuk mengemas buah-buahan, sayur-sayuran segar, roti, produk pangan beku dan tekstil.
2. Poliester atau Polietilen Treptalat (PET)

PET adalah hasil kondensasi polimer etilen glikol dan asam treptalat, dan dikenal dengan nama dagang mylar. Jenis plastik ini banyak digunakan dalam laminasi terutama untuk meningkatkan daya tahan kemasan terhadap kikisan dan sobekan LLDPE sehingga banyak digunakan sebagai kantung-kantung makanan. Rumus kimia PET adalah :



Ada 3 (tiga) jenis plastik PE, yaitu :

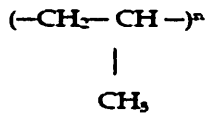
- PET biasa tanpa laminasi
- PET yang mengkerut jika kena panas
- PET yang dilaminasi untuk kemasan vakum.

Sifat-sifat plastik PET adalah :

- Tembus pandang (transparan), bersih dan jernih.
- Tahan terhadap suhu tinggi (300°C).
- Permeabilitasnya terhadap uap air dan gas rendah.
- Tahan terhadap pelarut organik seperti asam-asam organik dari buah-buahan, sehingga dapat digunakan untuk mengemas minuman sari buah.
- Tidak tahan terhadap asam kuat, fenol dan benzil alkohol.
- Kuat dan tidak mudah sobek.
- Tidak mudah dikelim dengan pelarut.

3. Polipropilen (PP)

Polipropilen adalah polimer dari propilen dan termasuk jenis plastik olefin, dengan rumus bangun sebagai berikut:



Polipropilen mempunyai nama dagang Bexophane, Dynafilm, Luparen, Escon, Olefane dan Profax. Sifat-sifat dan penggunaannya sangat mirip dengan polietilen, yaitu:

- Ringan (densitas 0,9 gr/cm³).
- Mudah dibentuk.
- Tembus pandang dan jernih dalam bentuk film, tapi tidak transparan dalam bentuk kemasan kaku.
- Lebih kuat dari PE. Pada suhu rendah akan rapuh, dalam bentuk murninya mudah pecah pada suhu -30⁰C sehingga perlu ditambahkan PE atau bahan lain untuk memperbaiki ketahanan terhadap benturan. Tidak dapat digunakan untuk kemasan beku.
- Lebih kaku dari PE dan tidak mudah sobek sehingga mudah dalam penanganan dan distribusi.
- Daya tembus (permeabilitasnya) terhadap uap air rendah, permeabilitas terhadap gas sedang, dan tidak baik untuk bahan pangan yang mudah rusak oleh oksigen.
- Tahan terhadap suhu tinggi sampai dengan 150⁰C, sehingga dapat dipakai untuk mensterilkan bahan pangan.
- Mempunyai titik lebur yang tinggi, sehingga sulit untuk dibentuk menjadi kantung dengan sifat kelim panas yang baik.
- Polipropilen juga tahan lemak, asam kuat dan basa, sehingga baik untuk kemasan minyak dan sari buah. Pada suhu kamar tidak terpengaruh oleh pelarut kecuali oleh HCl.
- Pada suhu tinggi PP akan bereaksi dengan benzen, siklen, toluen, terpening dan asam nitrat kuat.

4. Polistiren

Polistiren ditemukan pada tahun 1839 oleh E.Simon, tapi secara komersial baru diproduksi di Jerman tahun 1935 dengan nama dagang Bextrene, Carinex, Dylene, Fostarene, Kardel, Vestyran, Lustrex, Restirol, Luran dan Lorkalene. Sifat-sifat umum polistiren adalah:

- Kekuatan tariknya tinggi dan tidak mudah sobek.
- Titik leburnya rendah (88°C), lunak pada suhu $90\text{-}95^{\circ}\text{C}$.
- tahan terhadap asam dan basa kecuali asam pengoksidasi.
- Terurai dengan alkohol pada konsentrasi tinggi, ester, keton, hidrokarbon aromatik dan klorin.
- Permeabilitas uap air dan gas sangat tinggi, baik untuk kemasan bahan segar.
- Permukaan licin, jernih dan mengkilap serta mudah dicetak.
- Bila kontak dengan pelarut akan keruh.
- Mudah menyerap pemlastis, jika ditempatkan bersama-sama dengan plastik lain menyebabkan penyimpangan warna.
- Mempunyai afinitas yang tinggi terhadap debu dan kotoran
- Baik untuk bahan dasar laminasi dengan logam (aluminium)

Oriented Polistiren (OPS) banyak digunakan untuk kemasan buah-buahan dan sayuran yang memerlukan permeabilitas uap air dan gas yang tinggi. Bentuk lain adalah kopolimer stiren dengan karet butadien (SB), kopolimer stiren dengan akrilonitril (SAN) dan kopolimer akrilonitril butadien stiren (ABS). Nama dagang ABS antara lain Abson, Cylolac, Royalite dan Sulvac. ABS adalah termoplastik yang bersifat tidak transparan (*translucent*), tidak berwarna putih tapi kekuningan, dan dalam kemasan berperan sebagai *thermoforming*.

5. Polivinil Klorida (PVC)

Reaksi polimerisasi vinil klorida ditemukan pada tahun 1835 oleh Regnault, dan fabrikasinya dimulai tahun 1931. Nama-nama dagang PVC adalah Elvax, Geon, Postalit, Irvinil, Kenron, Marvinol, Opalon, Rucoblend, Vinoflex. Kemasan PVC dapat berupa kemasan kaku atau kemasan bentuk. Beberapa jenis PVC adalah :

a. *Plasticized Vinyl Chloride*

Bahan pemlastis yang digunakan adalah resin (poliester, epoksi) dan non resin (ptalat dan posfat). Digunakan untuk kemasan daging segar, ikan, buah-buahan dan sayuran.

b. *Vinyl Copolymer*

Vinyl copolimer mirip dengan plastized vinil klorida, hanya resinnya berupa polimer, sehingga dapat digunakan untuk kemasan *blister pack*, kosmetika dan sari buah.

c. *Oriented Film*

PVC jenis *oriented film* mempunyai sifat yang luwes (lunak) dan tidak mudah berkerut.

Sifat-sifat umum kemasan PVC adalah sebagai berikut :

- Tembus pandang, ada juga yang keruh.
- Permeabilitas terhadap uap air dan gas rendah.
- Tahan minyak, alkohol dan pelarut petroleum, sehingga dapat digunakan untuk kemasan, mentega, margarin dan minyak goreng.
- Kekuatan tarik tinggi dan tidak mudah sobek.
- Dipengaruhi oleh hidrokarbon aromatik, keton, aldehida, ester, eter aromatik, anhidrat dan molekul-molekul yang mengandung belerang, nitrogen dan fosfor.
- Tidak terpengaruh oleh asam dan basa, kecuali asam pengoksidasi, akan tetapi pemlastis akan terhidrolisa oleh asam dan basa pekat.
- Densitas 1.35-1.4 gr/cm³.

Bahan penstabil yang diizinkan untuk pembuatan kemasan PVC adalah dioktil-tin mercaptoasetat dan maleat.

6. Saran atau Poliviniliden Klorida (PVDC)

PVDC merupakan kopolimer dari vinil klorida dan viniliden klorida ((CH₂-CCl₂)_n -) , yang dibuat dengan cara menarik dari dua arah secara simultan, sehingga molekul PVDC berorientasi paralel dengan permukaannya. Selain Saran jenis PVDC yang lain adalah *Cryovac* (nama dagang). Sifat-sifat umum dari saran adalah:

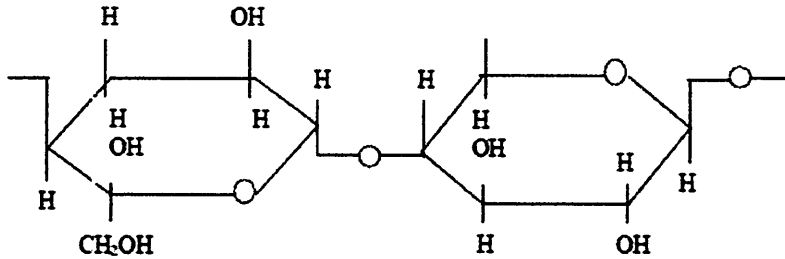
- Transparan dan luwes dengan kejernihan yang bervariasi.
- Tahan terhadap bahan kimia, asma, basa dan minyak.
- Barrier yang baik untuk sinar ultraviolet, sehingga baik digunakan untuk bahan-bahan yang peka terhadap sinar ultraviolet seperti daging segar dan keju.
- Permeabilitas uap air dan gas sangat rendah, sehingga baik digunakan untuk produk-produk yang peka terhadap oksigen seperti daging, keju dan produk kering (buah-buahan, candy).
- Dapat menahan aroma.
- Tahan terhadap pemanasan yang kering atau basah (perebusan).
- Tidak baik untuk kemasan beku.

Beberapa sifat umum PVDC cryovac adalah:

- Permeabilitasnya terhadap uap air dan gas rendah.
- Mudah mengkerut jika kena panas, sesuai untuk kemasan bahan yang bentuknya tidak beraturan seperti ayam dan ikan.
- Tahan suhu rendah (-40°C) sehingga baik untuk kemasan beku.
- Tahan terhadap tekanan tinggi, dapat digunakan untuk kemasan vakum.
- Mudah dicetak karena permukaannya licin, transparan dan mengkilap.
- Tidak mudah terbakar.
- Mudah dikelim panas.

7. Selopan

Selopan berasal dari kata *cello* dan *phane* yaitu cellulose dan diaphane (Perancis) dimana cello artinya selulosa dan phane artinya transparan.



Selopan mempunyai sifat-sifat sebagai berikut:

- Transparan dan sangat terang.
- Tidak bersifat termoplastik, tidak bisa direkat dengan panas.
- Tidak larut air atau minyak.
- Mudah retak pada kelembaban dan suhu rendah.
- Mudah dilaminasi sehingga merupakan pelapis yang baik.
- Mudah robek sehingga perlu dihindarkan dari resiko tertusuk.
- Mengkerut pada suhu dingin.

Ketika memberikan sifat kedap air dan dapat direkatkan dengan panas, maka kedua permukaan selopan dilapisi dengan nitroselulosa atau poliviniliden klorida (saran) dengan tebal 0.00125 mm. Berdasarkan jenisnya, maka selopan diberi kode-kode sebagai berikut :

A atau B = anchored (dilapisi)

C = colored (berwarna)

D = Du Pont (sifat kedap air menurun)

L = sifat kedap air < dari standar (kedap air sedang)

M = Kedap uap air

O = dilapisi sebelah

P = tidak dilapisi

R = dilapisi dengan vinil

S = direkat dengan panas (*sealable*)

T = tembus pandang

V,X atau K = dilapisi dengan polimer saran

WO = white opaque (berwarna putih keruh)

Selopan banyak digunakan untuk kemasan berbagai produk, seperti daging, keju, pickle, tekstil dan sebagainya seperti terlihat pada Tabel 2.4. Pada udara kering kemasan selopan akan mengkerut, oleh karena itu dalam pembungkusan perlu dilonggarkan sekitar 1,5-6,25 mm. Selopan disimpan pada suhu 21-24°C dan RH 35-50%.

Tabel 2.4. Beberapa jenis selopan dan penggunaannya

Jenis	Penggunaan	Produk yang Dikemas	Karakteristik
MST-44	Umum	Umum	Umum
MST-51	Pembungkus	Roti	Luwes
MST-52	Pita bercabik	Produk berminyak	Kaku
MSAT-87	Kantung	Pangan beku	Tahan air
MT-33	Pembungkus	Permen	Luwes
MT-31	Pembungkus	Rokok	Merekat dengan solven
T-79	Kantung	Masakan	Barrier
OF-16	Pembungkus	Daging Segar	Tidak berkabut
V-4	Pembungkus	Produk berlemak	Tahan lemak

Sumber : Syarieff. et al., 1989.

8. Selulosa Asetat (CA)

CA adalah bahan kristal termoplastik yang keras dan mudah diproses, memiliki sifat sangat jernih dan kaku. Meskipun terbuat dari selulosa, tapi sifatnya sangat berbeda dengan selopan, karena CA merupakan thermoplastik. Cara pembuatan CA adalah menambahkan selulosa dengan asam asetat dan asetat anhidrid melalui katalisa dan pelarut sehingga diperoleh selulosa triasetat yang jernih. Kemudian dihidrolisa dengan air dan bahan penghidrolisa, dikeringkan dan dihasilkan serpihan selulosa asetat. Persentase dari kombinasi asam asetat dan panjang rantai molekul menentukan sifat fisik dari CA.

Beberapa sifat CA adalah:

- Tidak mudah mengkerut bila dekat dengan api.
- Sangat jernih, mengkilap, agak kaku dan mudah sobek.
- CA lebih tahan terhadap benturan dibandingkan HDPE. Tapi lebih lemah daripada selulosa propionat

- Tahan abrasi.
- Peka terhadap cahaya matahari, oksigen dan uap air, sehingga perlu dicegah dengan penambahan bahan penstabil asam tartarat 0.01%.
- Tahan panas dan rapuh pada suhu rendah, tidak cocok untuk makanan beku.
- Tahan minyak.
- Terurai oleh asam kuat, basa, alkohol, ester dan HCl.
- Mengembang pada RH tinggi
- *Barrier* yang buruk terhadap uap air dan gas

Plastik CA sesuai untuk kemasan kembang gula karena penampakkannya yang jernih. Untuk menambah kekuatan CA maka ditambahkan dietil ptalat. Dalam perdagangan, CA dikenal dengan nama Bexoid, Lumarith, Plastacele, Sicaloid, Tenite I dan Vuepak.

9. Selulosa Propionat (CP)

CP dibuat dengan cara mereaksikan selulosa dengan asam propionat dan anhidrat, atau pencampuran antara asetat, asam propionat dan anhidrat dengan katalisator asam sulfat sehingga menghasilkan produk dengan sifat yang diinginkan. Sifat-sifat CP adalah:

- Daya tahan terhadap benturan lebih besar daripada CA.
- Transparan dan mudah dibentuk.
- Mengembang pada RH tinggi.
- Terurai oleh asam kuat, basa, alkohol, keton dan ester.

10. Etil Selulosa

Etil selulosa bersifat stabil pada suhu tinggi dan sering digunakan untuk laminasi *hot-dip*, lapisan (*lacquer*) panas dan pembungkus yang mudah dikelupas. Etil selulosa merupakan termoplastik dan mengandung beberapa pemlastis. Sifat-sifat utama etil selulosa adalah:

- Tidak berwarna, tidak berbau dan tidak berasa.
- Tidak dapat menahan uap air dan gas.
- Larut pada sebagian besar pelarut kecuali pada hidrokarbon alifatik, glikol dan air.

- Tidak tahan terhadap pelarut organik.
- Tahan minyak, sehingga cocok untuk kemasan bahan pangan berlemak seperti margarine, mentega dan minyak.
- Tahan terhadap asam dan basa lemah, tapi terurai oleh asam kuat.
- Mempunyai kekerasan dan kekuatan yang baik, daya rentang menurun dan ekstensibilitas meningkat dengan meningkatnya suhu.
Kelenturan meningkat dengan menurunnya suhu, tidak terjadi degradasi hingga suhu 200°C.
- Tidak banyak terpengaruh oleh cahaya matahari.

11. Metil Selulosa

Metil selulosa dengan nama dagang Methocel banyak digunakan untuk kemasan dari produk yang akan dicampur bersama kemasannya. Sifat-sifat metil selulosa adalah:

- Larut dalam air jika kontak langsung, makin tinggi suhu maka semakin banyak metil selulosa yang larut.
- Tahan terhadap udara lembab dan tidak menjadi rapuh.
- Tahan terhadap minyak nabati dan hewani, sehingga banyak digunakan untuk kapsul.

12. Nilon atau Poliamida (PA)

Poliamida diperoleh dengan cara kondensasi polimer (polikondensasi) dari asam amino atau diamina dengan asam dua karboksilat (di-acid). Asam amino dan asam karboksilat mempunyai banyak jenis, sehingga nilon yang dihasilkan juga berbagai macam, misalnya:

- Nilon 6 yang tahan terhadap abrasi
- Nilon 11 dan nilon 12, tahan terhadap oksigen, air dan dapat direkat pada suhu rendah dahulu digunakan untuk industri tekstil, tapi saat ini sudah digunakan sebagai film kemasan, dengan nama dagang Nypel, Ultramid, X-tal, Zytel, Capran dan Rilsan.

Poliamida tergolong termoplastik non etilen dengan sifat-sifat sebagai berikut:

- Bersifat inert, tahan panas dan mempunyai sifa-sifat mekanis yang istimewa (elongation, tensile strength, tear strength, folding endurance).
- Tahan terhadap asam encer dan basa, tidak tahan asam kuat dan pengoksidasi.
- Tidak berasa, tidak berbau dan tidak beracun.
- Larut dalam asam formal dan penol.
- Cukup kedap gas, tetapi tidak kedap air.
- Mengkerut karena perubahan kelembaban, atau dapat mengembang dan menyerap air hingga 8%.
- Tahan terhadap suhu tinggi, dan baik digunakan untuk kemasan bahan yang dimasak di dalam kemasannya, seperti nasi instan, serta untuk produk-produk yang disterilisasi, dan untuk kemas hampa.
- Nilon dilapiskan secara kombinasi dengan bahan lain sehingga diperoleh sifat kemasan yang inert dan permeabilitasnya rendah. Nilon dapat digunakan untuk semua jenis makanan kecuali susu dan produk-produk susu. Nilon juga banyak digunakan sebagai jala dan pembungkus amunisi.

13. Polikarbonat (PC)

PC dengan nama dagang Lexan dan Merlon termasuk termoplastis non etilen dengan sifat-sifat antara logam ringan, gelas dan bahan plastik, dan biasanya digunakan untuk kemasan jus buah-buahan, bir, wadah pembagi yang otomatis dan untuk botol susu bayi. Sifat-sifat PC adalah :

- Tidak berbau dan tidak berwarna (transparan).
- Kuat dan tahan panas, sehingga cocok untuk bahan pangan yang disterilisasi.
- Tahan terhadap asam lemah, zat pereduksi atau pengoksidasi, garam, lemak serta hidrokarbon alifatik.
- Terurai oleh alkali, amin, keton, ester hidrokarbon aromatik, dan beberapa jenis alkohol.
- Larut dalam metilen klorida, etilen diklorida dan dioktana dari kresol.

14. Pliofilm (Karet Hidroklorida)

Plioilm dibuat dari lembaran karet yang dilarutkan dan diklorinasi, mempunyai sifat-sifat sebagai berikut:

- Berkilau dan transparan, tapi lama kelamaan dapat menjadi coklat dan berbau yang berasal dari antioksidan yang digunakan bila diregangkan, warnanya berubah menjadi putih.
- Tahan asam, alkali dan lemak, sesuai untuk produk daging , tetapi beberapa jenis minyak dapat menyerang pemplastisnya sehingga film menjadi rapuh.
- Tidak dapat menahan gas sehingga tidak cocok untuk kemasan boil in bag.
- Transmisi gas CO₂ tidak cukup tinggi untuk sayuran segar.

15. Poliuretan

Bahan kemasan poliuretan terdapat dalam dua bentuk, yaitu bentuk padat (film) dan busa. Poliuretan diperoleh dari reaksi diisosianat aromatik seperti tolylene diisosianat $[(CH_3)C_6H_3(NCO)_2]$ dan diol (HOROH). Sifat-sifat utama poliuretan adalah:

- Tidak berbau.
- Tahan oksidasi, tahan minyak dan kapang.
- Dipengaruhi oleh asam dan basa kuat, halogen, hidrokarbon aromatik, pelarut-pelarut klorin, eser, keton dan alcohol.
- Bentuk busa, mudah melekat pada permukaan yang bebas minyak atau lilin.

Nama-nama dagang poliuretan adalah arohane, chem-o-thane, chempol, expandofoam, isofoam, lux-foam, nopofoam, safoam, sanfoam, thermohane, unifoam dan uralane.

16. Plastik Urea

Plastik urea tergolong dalam termoset, dan merupakan bahan yang translusi dan keras. Banyak digunakan sebagai sumbat atau penutup wadah dan kemasan kosmetika dalam perdagangan dikenal dengan nama Arodure, Beetle, Kaurit, Resfurin, Scrab, Siritle, Sylplas dan Synvarol. Urea merupakan istilah

untuk Urea-formaldehida yaitu dua jenis bahan utama pembuatan plastik urea. Plastik ini tersedia dalam berbagai warna seperti merah jambu, kuning dan oranye. Sifat-sifat umum plastik urea adalah:

- Keras dan kaku.
- Tidak berbau dan tidak berasa dan berwarna keruh atau translusid.
- Tidak dipengaruhi oleh pelarut-pelarut organik tapi dapat dipengaruhi oleh basa dan asam kuat.
- Tahan minyak.
- Stabil pada suhu tinggi.

17. Akrilik

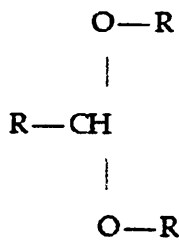
Akrilik adalah nama kristal termoplastik yang jernih dengan nama dagang Lucie, Borex dan Plexiglas. Beberapa sifat akrilik adalah:

- Kaku dan transparan.
- Penahan yang baik terhadap oksigen dan cahaya.
- Titik leburnya rendah ($65,5^{\circ}\text{C}$).
- Pada suhu rendah cenderung cair, mudah rusak tergantung formula yang menyusunnya.
- Tahan terhadap petroleum, tapi terurai oleh alkohol rendah, HCl, asam pengoksidasi, keton, ester dan pelarut aromatik.
- Tidak dapat ditumbuhi kapang.
- Peka terhadap asam kuat dan basa.

Akrilik banyak digunakan sebagai bahan pelapis untuk bahan keras lain, dan dahulu digunakan untuk gigi palsu dan kacamata. Kemasan pangan yang menggunakan akrilik adalah botol-botol minuman.

18. Asetal

Asetal adalah dieter dari alkalidena glikol, dan mengandung dua atom eter oksigen yang terikat pada atom karbon yang sama.



Asetal biasanya digunakan untuk kemasan aerosol, karena kemampuannya menahan tekanan, dengan nama dagang Ceclon dan Delrin. Sifat-sifat asetal antara lain:

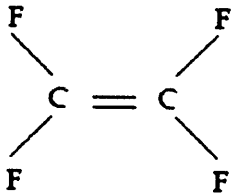
- Tidak berwarna dalam keadaan netral, tapi bila didinginkan dapat berwarna.
- Kaku dan kuat.
- Tahan terhadap oksigen dan cahaya.
- Tahan benturan.
- Tahan asam dan basa lemah, serta pelarut organik.
- Terurai oleh asam dan basa kuat serta pengoksidasi.

19. Plastik Penol (Bakelite)

Bakelit adalah nama dagang dari penol-formaldehida yang ditemukan oleh Dr.Leo Hendrix Baekeland pada tahun 1907. Nama dagang lainnya adalah Durez, Fiberie, Mesa dan Plenco. Sifat-sifat penol tergantung dari bahan pengisinya, misalnya tepung kayu akan mempertinggi daya tahan terhadap benturan dan mengurangi kemungkinan plastik mengkerut, bahan pengisi dari asbes dan lempung akan memperbaiki daya tahan terhadap bahan kimia. Sifat-sifat umum plastik penolik adalah:

- Tahan terhadap asam lemah dan basa.
- Terurai oleh asam pengoksidasi dan basa kuat.
- Keras, kuat dan tahan panas.
- Berwarna, umumnya warna gelap (hitam, coklat).

20. Politetra Fluoroetilen (PTFE)



PTFE termasuk dalam golongan poliolefin yang banyak digunakan sebagai pelapis pada penggorengan dan alat-alat dapur lainnya, dengan nama dagang Algoflon, Ertafleur, Fluon, Gaflon, Halon, Hosafon, Polyflon, Soreflon dan Teflon. Sifat-sifat PTFE adalah:

- Licin dan berlilin.
- Berwarna abu-abu.
- Koefisien gesek yang sangat rendah (0.05).
- Panas jenisnya 0.25 kal.g.°C dan konstanta dielektrik 2.1.
- Toleransi terhadap kisaran suhu yang luas.

21. Film Plastik lain

Banyak jenis film plastik lain yang digunakan baik untuk bahan pangan maupun produk-produk non pangan, misalnya:

- Edible film dari amilosa pati jagung untuk kemasan permen dan sosis yang dapat dimakan.
- Selulosa aseat butirat, yang mempunyai sifat seperti selulosa asetat dan selulosa propionat, tapi lebih kuat, dan sering menimbulkan bau yang tidak enak, sehingga penggunaannya sebagai bahan kemasan terbatas.
- Selulosa nitrat.
- Selulosa Triasetat.
- Klorotrifluoroetilen.
- Etilen buten.
- Fluorokarbon (teflon).
- Fluorohalokarbon (nama dagangnya Aclar).
- Silikon.
- Polisulfon.

- Polivinil alkohol, yang merupakan salah satu contoh film yang larut air, biasanya digunakan untuk produk yang akan dilarutkan dalam air.
- Polietilen Oksida, mirip dengan polivinil alkohol, digunakan untuk kemasan tepung yang akan dilarutkan dalam air tanpa membuka dulu kemasannya.
- Ionomer, yang dapat digunakan untuk kemasan vakum pada bahan pangan.

(Sumber: www.usu.ac.id)

2.2 Pengolahan Sampah Plastik

Proses kimiawi yang telah dilakukan seperti memecah rantai polimer plastik (*depolymerization*). Metode pemecahan rantai polimer yang sudah dikenal adalah pirolisis, gasifikasi, degradasi termal maupun katalitik, dan pencairan termal maupun katalitik (Joo and Guin, 1997). Produk yang dihasilkan dari metode pemecahan rantai polimer tersebut di atas umumnya menghasilkan sekitar 70-80% cairan dan 5-10% gas. Produk cair mengandung nafta dan komponen lain dengan titik didih 36 - 270°C yang potensial. untuk diolah kembali menjadi fraksi yang lebih bernilai ekonomi tinggi seperti bensin (Sakata *et al.*, 1996; Joo and Guin, 1997).

Permasalahan yang ditimbulkan oleh adanya sampah plastik, saat ini telah berkembang beberapa langkah yang terkait dengan manajemen pengolahan sampah plastik atau *recycling* sampah plastik. Beberapa contoh proses pengolahan limbah antara lain pembuatan *biodegradable plastic*, pembakaran, maupun pirolisis. Meskipun pembakaran ini dapat mengurangi jumlah limbah plastik, namun akan menimbulkan masalah baru yaitu emisi yang dihasilkan berupa gas-gas beracun HCl, HCN, maupun NO_x yang dapat mengganggu kesehatan. Pengolahan sampah plastik secara pirolisis yang menghasilkan produk berupa cairan, gas, serta padatan diharapkan mampu menjadi salah satu alternatif dalam mengurangi masalah pencemaran lingkungan (Purwanti Ani dan Sumarni, 2008).

2.2.1 Pirolisis

Pirolisis adalah proses *dekomposisi* suatu bahan pada suhu tinggi tanpa adanya udara atau dengan udara terbatas. Produk utama dari pirolisis yang dapat dihasilkan adalah arang (char), minyak, dan gas. Arang yang terbentuk dapat digunakan untuk bahan bakar ataupun digunakan sebagai karbon aktif. Sedangkan, minyak yang dihasilkan dapat digunakan sebagai zat aditif atau campuran dalam bahan bakar. Sedangkan gas yang terbentuk dapat dibakar secara langsung (A.S Chaurasia., B.V Babu., 2005).

Pirolisis plastik yang pernah dilakukan oleh Purwanti adalah dari 100 gram kantong plastik yang diolah pada suhu 400⁰C dalam waktu dua jam, diperoleh cairan mirip minyak bumi sekitar 75 ml (Purwanti Ani dan Sumarni, 2008). Adapun gas bakar yang didapat mencapai 116 ml per gram plastik bekas. Adanya kelemahan sistem batch, maka dikembangkan sistem "sinambung", dengan konstruksi agak berbeda. Pemanasan dilakukan dengan listrik, dibantu dengan nyala gas hasil pirolisis, dan sistem pendingin ditingkatkan. Pada proses ini, hasil cair yang diperoleh 79%-83% dari berat plastik yang dimasukkan ke dalam reaktor pirolisis, dengan panas dari luar yang dapat dikurangi 10%-15%.

Berdasarkan analisa yang pernah dilakukan Lembaga Minyak dan Gas Bumi (Lemigas), minyak dari plastik bekas ini memiliki sifat tidak jenuh. Artinya, perbandingan antara karbon dan hidrogen tidak seimbang sehingga ada mata rantai yang tidak terisi. Minyak berwarna kuning kecokelatan, tetapi sudah bisa untuk bahan bakar kompor atau obor (Purwanti Ani dan Sumarni, 2008). Minyak hasil pirolisis ini mudah terbakar, mengeluarkan jelaga, dan baunya merangsang. Minyak pirolisis ini dapat diolah lagi supaya mempunyai sifat jenuh dan stabil (Boy Macklin Pareira, 2009).

Pranata, J.(2008) meneliti tentang minyak pirolisis dari plastik polietilena, hasil penelitian menunjukkan bahwa minyak pirolisis dari plastik polietilena mempunyai densitas 939 kg/m³ atau lebih berat dari minyak tanah. Minyak bakar ini mempunyai *ignition point* 30,4⁰C sehingga sangat mudah dinyalakan. Komponen utama minyak pirolisis dari plastik polietilena adalah *styrene* monomer yang kadarnya hampir 64%. Sedangkan lebih dari 80% minyak

pirolisis. Karakteristik bahan bakar sampah plastik khususnya plastik *polietilena* dapat dilihat di dalam tabel 2.4.

Skodars,G.,*et.al.*(2006) telah melakukan penelitian mengenai pengaruh temperatur dan waktu terhadap hasil *char* pada proses pirolisis, dimana semakin tinggi temperatur setelah melewati temperatur puncak, reaktifitas dari *char* akan menurun. Sedangkan komponen waktu tidak terlalu berpengaruh terhadap terhadap reaktifitas dari *char*. Berdasarkan hal tersebut salah satu variasi pada penelitian yang dilakukan adalah variasi suhu.

Tabel 2.5. Karakteristik Bahan Bakar Sampah Plastik *Polietilena*

No	Unsur	Satuan	Jumlah
1	Density (15 ⁰ C)	g/cm ³	0,939
2	Kinematic viscosity (30 ⁰ C)	mm ² /s	1,189
3	Ignition point	⁰ C	30,5
4	Komponen		
	a. Styrene Monomer	%	63,9
	b. Styrene dimmer	%	11,5
	c. Styrene Trimer	%	5,7
	d. Toulene	%	2,2
	e. Ethyl Benzene	%	1,4
	f. Alphamethyl styrene	%	2,2
	g. Other	%	13,1

(Sumber: Pranata, J. 2008)

2.2.2 Faktor-faktor yang mempengaruhi Pirolisis

Berdasarkan beberapa penelitian, proses pirolisis dipengaruhi beberapa faktor seperti pada penelitian berikut:

Munawar, 2011 meneliti tentang sampah plastik menjadi minyak menggunakan proses pirolisis menunjukan bahwa pada suhu 420°C dan waktu 60 menit mendapatkan nilai penurunan massa tertinggi yaitu dari 500 gr menjadi 102,8 gr dan menghasilkan volume minyak pirolisis terbanyak yaitu 445 ml. Menunjukkan semakin tinggi suhu proses, maka massa yang ada di dalam reaktor akan semakin turun dan menghasilkan minyak yang banyak. Dengan bertambah tingginya suhu pemanasan maka zat-zat yang terkandung dalam plastik akan terurai dengan sempurna. Zat-zat tersebut akan terurai menjadi gas dan cair

(minyak). Dan pada waktu operasi menunjukkan bahwa semakin lama waktu proses pirolisis maka massa plastik yang ada akan semakin turun dan menghasilkan minyak yang banyak.

Anggraini, 2014 meneliti tentang pemanfaatan sampah plastik menjadi bahan bakar alternatif. Dalam penelitian ini sampah plastik yang akan dipirolisis harus dicuci dan dikeringkan terlebih dahulu kemudian dicacah dengan ukuran ± 1 cm. Hal tersebut dilakukan supaya sampah plastik bebas dari kotoran dan dapat terurai selama proses pirolisis sehingga diperoleh minyak pirolisis. Untuk hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa pada suhu 300°C dan waktu 40 menit mendapatkan nilai penurunan massa tertinggi dari 300 gr menurun menjadi 29,90 gr dan menghasilkan volume minyak pirolisis terbanyak yaitu 264 ml.

Penelitian awal yang dilakukan oleh Peters, et. al. (1985) mengenai dekomposisi pada pirolisis cepat berupa efek dari laju pemanasan, temperatur dan waktu tinggal padatan. Pada laju pemanasan yang tinggi dan waktu tinggal yang pendek akan menyebabkan devolatilisasi tidak terjadi sempurna dan produk tar yang dihasilkan akan terurai secepat ketika mereka terbentuk.

Jadi, faktor-faktor atau kondisi yang mempengaruhi proses pirolisis adalah sebagai berikut :

1. Kadar air

Kadar air berpengaruh pada proses pirolisis. Energi dari luar yang seharusnya digunakan untuk proses pirolisis digunakan sebagian untuk proses pengeringan kadar air dalam bahan. Akibatnya, pada bahan dengan kadar air yang lebih tinggi akan diperoleh padatan yang lebih banyak atau dengan kata lain proses dekomposisi pada bahan dengan kadar air yang tinggi membutuhkan energi yang lebih besar (Chaurasia & Babu, 2005).

2. Waktu

Waktu berpengaruh pada produk yang akan dihasilkan karena, semakin lama waktu proses pirolisis berlangsung produk yang dihasilkannya (residu padat, tar, dan gas) makin naik. Kenaikan itu sebatas sampai dengan waktu tak hingga (τ) yaitu waktu yang diperlukan sampai dengan hasil padatan residu, tar, dan gas mencapai konstan. Nilai τ dihitung sejak

proses isothermal berlangsung. Tetapi jika melebihi waktu optimal maka karbon akan teroksidasi oleh oksigen (terbakar), menjadi karbondioksida dan abu. Untuk itu pada proses pirolisis penentuan waktu optimal sangatlah penting. Waktu tinggal padatan mempengaruhi jumlah hasil dari pirolisis karena semakin lama bahan didalam reaktor maka padatan akan semakin terdekomposisi menjadi minyak dan gas. Semakin lama volatil tinggal didalam reaktor maka rantai karbon dari volatil itu akan semakin pendek dan semakin sulit terkondensasi sehingga minyak yang dihasilkan semakin sedikit karena semakin sulit terkondensasi (Encinar, J.M. *et al*, 2009).

3. Suhu

Suhu sangat mempengaruhi produk yang dihasilkan karena sesuai dengan persamaan Arrhenius, suhu makin tinggi nilainya konstanta dekomposisi termal makin besar akibatnya laju pirolisis bertambah dan konversi naik. Pada proses pirolisis suhu rendah (<700) dimulai pada suhu antara 225-275 °C (Bilbao and Salvador, 1995). Untuk itu, variasi percobaan agar reaksi pirolisis benar - benar telah terjadi maka diambil kisaran suhu yang perlu dipelajari, yaitu 300-500 °C. Temperatur memiliki efek penting terhadap hasil produk. Pada temperatur yang lebih tinggi maka hasil gas akan semakin banyak, hasil minyak akan meningkat sampai batas tertentu kemudian menurun, sedangkan hasil padatan cenderung rendah. Semakin tinggi temperatur nilai kalor untuk hasil gas akan meningkat, untuk hasil padatan cenderung konstan, sedangkan untuk hasil minyak akan semakin menurun (Encinar, J.M., *et. al*, 2009).

4. Ukuran Partikel

Ukuran partikel berpengaruh terhadap hasil, semakin besar ukuran partikel. Luas permukaan per satuan berat semakin kecil, sehingga proses akan menjadi lambat. (Wahyudi, 2001).

5. Berat Partikel

Semakin banyak bahan yang dimasukkan, menyebabkan hasil bahan bakar cair(tar) dan arang meningkat (Wahyudi, 2001)

6. Tipe pirolisis

Tipe pirolisis mempengaruhi hasil yang diperoleh dari proses pirolisis. Pirolisis cepat menghasilkan lebih banyak hasil minyak daripada hasil padatan dan gasnya. Pirolisis lambat menghasilkan hasil minyak, gas, dan padatan yang hampir seimbang (Evans, R., 2004).

2.2.3 Destilasi Bertingkat atau fraksinasi

Menurut Shadily (1984) destilasi diartikan sebagai prose pemanasan suatu bahan pada pelbagai temperatur, tanpa kontak dengan udara luar untuk memperoleh hasil tertentu.

Proses destilasi bertingkat (fraksinasi) ini digunakan untuk komponen yang memiliki titik didih yang berdekatan (Syukri, S. 1999). Sistem kerjanya sama dengan destilasi sederhana, perbedaannya adalah adanya kolom fraksinasi. Di kolom ini terjadi pemanasan secara bertahap dengan suhu yang berbeda-beda pada setiap platnya. Pemanasan yang berbeda-beda ini bertujuan untuk pemurnian destilat yang lebih baik daripada plat-plat di bawahnya. Semakin ke atas, semakin tidak volatil cairannya (Lando, J.B. dan Maron, S.H., 1974).

Penggunaan alat destilasi bertingkat pernah dilakukan oleh Ninik Agustin (2010) dalam penelitian Rancang Bangunan Teknologi Destilasi Bioetanol Untuk Bahan Bakar Terbarukan, menunjukan bahwa destilasi bertingkat mampu memurnikan bioethanol dengan hasil kadar alkohol 96% yang tidak jauh beda dari kadar alkohol 95% agar dapat dipergunakan menjadi bahan bakar. Dengan memvariasikan tiga kolom fraksi dan serutan, dapat disimpulkan pada penelitian ini hasil destilasi yang paling baik (kadar tinggi) dan jumlah optimum adalah menggunakan tiga kolom fraksi dan sembilan serutan AL. Jadi, destilasi bertingkat sangat efektif digunakan pada pemisahan fraksi minyak mentah menjadi berbagai komponennya (Chang,R.,2007).

Penelitian oleh Siti Nurhasanah (2009) dengan tujuan memisahkan eugenol dari minyak cengkeh dengan menggunakan destilasi fraksinasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa destilasi fraksinasi pada minyak cengkeh dengan perlakuan fraksinasi suhu 200°C dan 250°C tidak memperoleh eugenol murni (minimal 98%) tetapi kadar eugenolnya meningkat sampai 97,03% dari 93,34%. Perlakuan tekanan yang lebih kecil dan jumlah refluks yang lebih banyak akan lebih memurnikan minyak cengkeh menjadi eugenol. Dengan destilasi fraksinasi pada minyak cengkeh dimana proses berlangsung pada suhu dan tekanan rendah menghasilkan residu yang mutunya meningkat dengan kriteria kadar eugenol meningkat, berat jenis meningkat, semakin larut dalam alkohol, indeks bias yang meningkat dan nilai putaran optik yang sesuai dengan kriteria minyak cengkeh asli (kecil).

Untuk memurnikan minyak pirolisis menjadi berkadar lebih dari 95% agar dapat dipergunakan sebagai bahan bakar harus melewati proses destilasi untuk memisahkan minyak dengan air dengan memperhitungkan perbedaan titik didih kedua bahan tersebut yang kemudian diembunkan kembali untuk memperoleh minyak dengan kemurnian hingga 99,5-99,8%. (Ninik Agustin, 2012)

Kelemahan dari penyulingan cara ini adalah karena tidak baik digunakan untuk bahan-bahan yang mengandung fraksi sabun, bahan yang larut air dan bahan yang disuling dapat hangus jika suhu tidak diawasi. Minyak ini terjadi melalui proses penguapan, pengembunan, penampungan dan pemisahan. Dalam proses penguapan karena terjadi pemanasan uap dari air dan bahan, maka minyak yang terikat pada sel-sel daun akan terlepas dan menguap bersama-sama dengan uap air. Kedua uap ini suhunya masih tinggi. Untuk memperoleh minyak yang diharapkan maka uap tersebut perlu diembunkan. Pengembunan dilakukan dengan alat pengembun (kondensor) yang menghasilkan kondensat. Kondensat harus dilakukan pemisahan karena masih terdapat minyak atsiri dengan air.

Pemisahan didasarkan pada berat jenis kedua fraksi. Minyak mempunyai berat jenis lebih besar daripada air, minyak atsiri akan mengumpul dibagian bawah alat pemisah sedangkan air berada pada bagian atas alat pemisah. Faktor yang dapat mempengaruhi proses destilasi antara lain lama destilasi, bobot awal

produk, sumber panas dari kompor listrik, volume air untuk melarutkan zat yang terkandung pada bahan. (Muhamad Jafar,2014)

2.3 Pengujian Minyak

Anggraini (2014) telah meneliti tentang pemanfaatan sampah plastik menjadi bahan bakar alternative. Dari penelitian yang telah dilakukan berupa pirolisis sampah plastik dan pengujian karakteristik minyak pirolisis yang dihasilkan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Densitas minyak sampah botol air mineral yang terbaik adalah 0,731 Kg/L dan setelah dilakukannya destilasi densitasnya menjadi 0,725 Kg/L. Sedangkan, densitas minyak kantong plastik adalah 0,902 Kg/L dan setelah dilakukannya destilasi densitasnya menjadi 0,901 Kg/L.
2. Viskositas minyak terbaik terdapat pada minyak sampah botol air mineral adalah 2,044 cst dan setelah dilakukannya destilasi viskositasnya menjadi 2,714 cst. Sedangkan, viskositas minyak kantong plastik adalah 2,340 cst dan setelah dilakukannya destilasi viskositasnya menjadi 2,774 cst.
3. Nilai kalor minyak tertinggi terdapat pada minyak sampah botol air mineral adalah 42,811 MJ/Kg dan setelah dilakukannya destilasi nilai kalornya menjadi 43,818 MJ/Kg. Sedangkan, nilai kalor minyak kantong plastik adalah 41,938 MJ/Kg dan setelah dilakukannya destilasi nilai kalornya menjadi 43,616 MJ/Kg.

Jadi, pengujian minyak yang dihasilkan dari proses destilasi bertingkat dilakukan uji karakteristik minyak sebagai berikut:

2.3.1 Viskositas

Fluida yang mengalir melalui sebuah pipa dapat dipandang terdiri atas lapisan-lapisan tipis zat alir yang bergerak dengan laju berbeda-beda sebagai akibat adanya gaya kohesi maupun adhesi. Salah satu cara untuk mengukur besarnya nilai viskositas zat cair adalah dengan menggunakan viskosimeter oswald. Cara pengukuran dengan cara viskosimeter oswald adalah dengan cara

membandingkan dua jenis fluida yaitu aquadest dengan zat cair lainnya, masing-masing dengan kekentalan η_a dan η_x , keduanya memiliki volume yang sama dan mengalir melalui pipa yang ukurannya sama.

Tabel 2.6. Viskositas beberapa Fluida

No	Fluida	Suhu (°C)	Viskositas (cP)
1	Air	20	1
2	Alkohol Ethyl	20	1,2
3	Minyak Mesin (SAE 10)	30	200
4	Gliserin	20	1500
5	Udara	20	0,018
6	Hydrogen	0	0,009
7	Minyak tanah	28	0,294-3,34
8	Bensin	27	0,652
9	Alkohol	27	0,8609
10	Aseton	27	0,3417
11	Minyak Pirolisis PP	27	0,43
12	Minyak Pirolisis LDPE	27	0,58
13	Minyak Pirolisis Sekam Padi	27	0,91

(Sumber: Adityo, 2011)

Pada umumnya syarat viskositas adalah maksimum, tetapi dalam beberapa hal, syarat minimum juga diperlukan. Viskositas kinematis biasanya diukur dengan *viscosity meter* dengan unit *stoke* atau cm^2/detik , dan viskositas absolut dalam *poise*, yang mana tenaga yang dibutuhkan untuk memutar luasan sebesar 1 cm^2 dengan kecepatan 1 m/s dalam bidang paralel yang dipisahkan dalam fluida dan untuk memudahkan perhitungannya menggunakan satuan unit *centipoise (cP)* dan *centistokes (cS)*. Kenaikan viskositas akan menurunkan sudut injeksi penyemprotan, penetrasi dan distribusi bahan bakar dalam ruang bakar dan disamping dengan tingginya viskositas bahan bakar akan menimbulkan panas

yang berlebihan pada injektor sehingga tidak dapat menjalankan fungsinya dengan baik. Sedangkan, bahan bakar dengan viskositas terlalu rendah akan dapat menyebabkan kebocoran bahan bakar tersebut pada pompa bahan bakar dan injektor, dan menyebabkan atomisasi bahan bakar yang halus serta penurunan tingkat penetrasi bahan bakar tersebut di ruang bakar dan untuk itu pentingnya menentukan viskositas yang tepat pada bahan bakar diesel sesuai dengan kebutuhan (Askha Kusuma.P, 2008).

2.3.2 Massa Jenis atau Densitas

Densitas didefinisikan sebagai perbandingan antara berat (kg) per satuan volume (m^3) bahan bakar. Karakteristik ini sangat berhubungan erat dengan nilai kalor dan daya yang dihasilkan oleh suatu mesin diesel per satuan bahan bakar. Density juga dapat dipengaruhi oleh perubahan temperatur dan tekanan yang dialami fluida bahan bakar. Semakin tinggi tekanan yang dialami fluida bahan bakar jenisnya semakin tinggi dan semakin tinggi temperatur fluida bahan bakar.

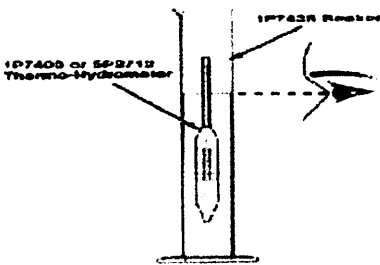
Satuan SI massa jenis adalah kg/m^3 . Massa jenis berfungsi untuk menentukan suatu zat karena setiap zat memiliki massa jenis yang berbeda. Suatu zat berapapun massanya dan berapapun volumenya akan memiliki massa jenis yang sama.

Tabel 2.7. Massa Jenis Berbagai Fluida

No.	Jenis Minyak	Massa Jenis (Kg/L)
1	Bensin	0,68
2	Alkohol Alkil	0,79
3	Air Laut	1,025
4	Raksa	13,6
5	Air ($^{\circ}4$)	1
6	Udara	$1,29 \times 10^{-3}$
7	Minyak tanah	0,78-0,81
8	Minyak Pirolisis PP	0,71-0,74
9	Minyak Pirolisis LDPE	0,74-0,77
10	Minyak Pirolisis Sekam Padi	0,99

(Sumber: Adityo, 2011)

Berat jenis bahan bakar solar adalah berat volume tetap bahan bakar tersebut dibandingkan dengan berat air dengan volume yang sama (pada temperature yang sama). Semakin tinggi berat jenis, semakin berat bahan bakar. Bahan bakar yang lebih berat memiliki energi atau tenaga yang lebih besar (per volume) bagi engine untuk digunakan.



Gambar 2.2 Thermo- Hydrometer

Angka penunjuk pada hydrometer tersebut adalah skala American Petroleum Institute (API) dan merupakan kebalikan dari berat jenis yaitu, semakin tinggi angka API, maka semakin ringan bahan bakar yang bersangkutan. Sebagian besar diesel engine Caterpillar hasil pembacaan API sebesar 35 adalah optimum. Bahan bakar yang lebih ringan seperti minyak tanah memiliki ukuran API 40-44. Hydrometer mengambang di dalam bahan bakar. Anda dapat memperhatikan titik dimana ketinggian permukaan zat cair memotong/bersilangan dengan skala hydrometer dan membaca berat jenis bahan bakar API.

Tabel. 2.8. Densitas Bahan Bakar Dan Kepekatan Yang Berbeda

BERAT JENIS DAN KEPEKATAN/DENSITAS BAHAN BAKAR			
Derajat API pada 15 ⁰ C (60 ⁰ F)	Berat Jenis pada 15 ⁰ C (60 ⁰ F)	Pound per Gallon	Kg/L
25	0,9420	7,529	0,903
26	0,8984	7,481	0,898
27	0,8927	7,434	0,892
28	0,8871	7,387	0,886
29	0,8816	7,341	0,881
30	0,8762	7,296	0,876
31	0,8708	7,251	0,870

BERAT JENIS DAN KEPEKATAN/DENSITAS BAHAN BAKAR			
Derajat API pada 15 ⁰ C (60 ⁰ F)	Berat Jenis pada 15 ⁰ C (60 ⁰ F)	Pound per Gallon	Kg/L
32	0,8654	7,206	0,865
33	0,8602	7,163	0,860
34	0,8550	7,119	0,854

(Sumber: Agus Pramono,2011)

2.3.3 Nilai Kalor

Nilai kalor rendah (*Lower Heating Value*) adalah jumlah energi yang dilepaskan dalam proses pembakaran suatu bahan bakar dimana kalor laten dari uap air tidak diperhitungkan atau setelah terbakar temperatur gas pembakaran dibuat 150°C. Pada temperatur ini air berada dalam kondisi fasa uap. Jika jumlah kalor laten uap air diperhitungkan atau setelah terbakar temperatur gas hasil pembakaran dibuat 25°C maka akan diperoleh nilai kalor atas (*High Heating Value*). Pada temperatur ini air akan berada dalam kondisi fasa cair. Nilai kalor adalah jumlah dari panas yang dilepaskan selama proses pembakaran pada jumlah yang spesifik. Nilai kalor didefinisikan sebagai energi per satuan benda tersebut. Nilai kalor minyak diesel yang berkisar 43 MJ/Kg – 45 MJ/Kg (Oksi Sigit, 2008).

Nilai kalor bahan bakar dapat diketahui dengan menggunakan kalorimeter. Bahan bakar yang akan diuji nilai kalornya dibakar menggunakan kumparan kawat yang dialiri arus listrik dalam bilik yang disebut bom dan membenamkan di dalam air. Bahan bakar yang bereaksi dengan oksigen akan menghasilkan kalor. Hal tersebut menyebabkan suhu kalorimeter naik dan untuk menjaga agar panas yang dihasilkan dari reaksi bahan bakar dengan oksigen tidak menyebar ke lingkungan luar maka kalorimeter dilapisi oleh bahan yang berisifat *isolator*.

Tabel 2.9. Nilai Kalor Berbagai macam Bahan Bakar

No	Bahan	Nilai Kalor (MJ/Kg)
1	Minyak Tanah	43

No	Bahan	Nilai Kalor (MJ/Kg)
2	Bensin	47,3
3	Aseton	29
4	Batubara	15-27
5	Kokas	28-31
6	Minyak Diesel	44,8
7	Arang	29,6
8	Butana	49,5
9	Alkohol 96 %	30
10	Hidrogen	141,79

(Sumber: Adityo, 2011)

2.4 Gas Cromatografy Mass Spectrometry (GCMS)

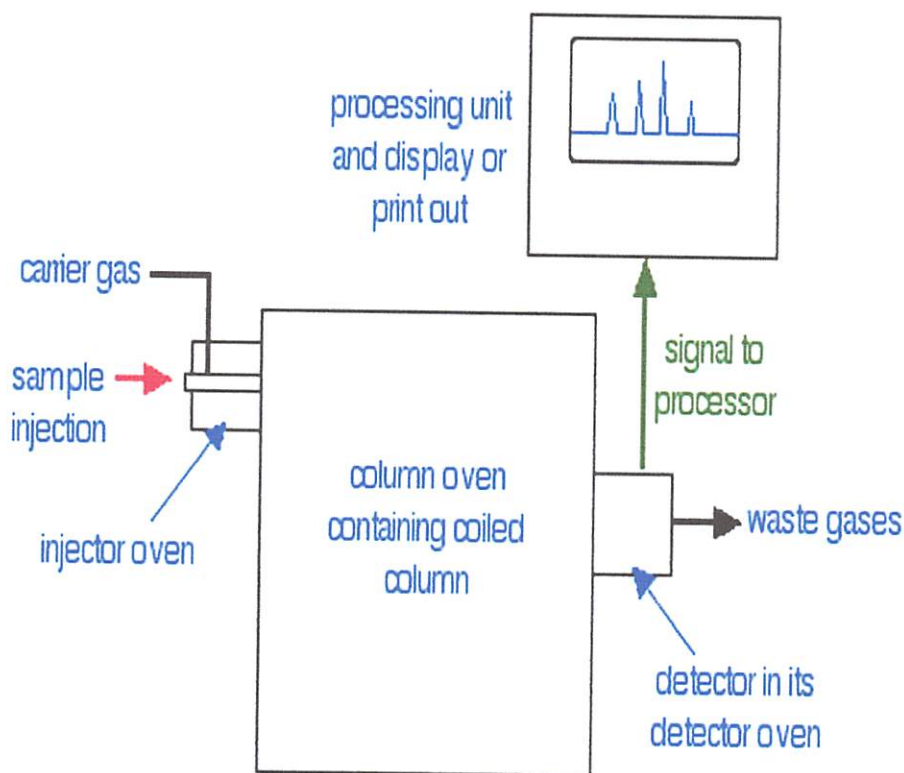
Gas kromatografi merupakan salah satu teknik spektroskopi yang menggunakan prinsip pemisahan campuran berdasarkan perbedaan kecepatan migrasi komponen-komponen penyusunnya. Gas kromatografi biasa digunakan untuk mengidentifikasi suatu senyawa yang terdapat pada campuran gas dan juga menentukan konsentrasi suatu senyawa dalam fase gas.

Spektroskopi massa adalah suatu metode untuk mendapatkan berat molekul dengan cara mencari perbandingan massa terhadap muatan dari ion yang muatannya diketahui dengan mengukur jari-jari orbit melingkarnya dalam medan magnetik seragam. Penggunaan kromatografi gas dapat dipadukan dengan spektroskopi massa. Paduan keduanya dapat menghasilkan data yang lebih akurat dalam pengidentifikasian senyawa yang dilengkapi dengan struktur molekulnya.

Kromatografi gas ini juga mirip dengan distilasi fraksional, karena kedua proses memisahkan komponen dari campuran terutama berdasarkan pada perbedaan titik didih (atau tekanan uap). Namun, distilasi fraksional biasanya digunakan untuk memisahkan komponen-komponen dari campuran pada skala besar, sedangkan GC dapat digunakan pada skala yang lebih kecil atau mikro (Pavia, 2006).

2.4.1 Instrumentasi Cromatografy Mass Spectrometry (GCMS)

Rangkaian instrumentasi untuk gas kromatografi dan spekstroskopi massa bergabung menjadi satu kesatuan rangkaian yang sering disebut dengan GCMS. Secara umum rangkaian GCMS :



Gambar 2.3. Diagram Alir Kromatografi Gas-Cair

Berikut adalah penjelasan mengenai masing-masing instrument pada rangkaian GCMS.

1. Instrumentasi Gas Kromatografi

a. *Carrier Gas Supply*

Gas pembawa (*carrier gas*) pada kromatografi gas sangatlah penting. Gas yang dapat digunakan pada dasarnya haruslah inert, kering, dan bebas oksigen. Kondisi seperti ini dibutuhkan karena gas pembawa ini dapat saja bereaksi dan dapat mempengaruhi gas yang akan dipelajari atau diidentifikasi.

b. Injeksi Sampel

Sejumlah kecil sampel yang akan dianalisis diinjeksikan pada mesin menggunakan semprit kecil. Jarum semprit menembus lempengan karet tebal (Lempengan karet ini disebut septum) yang mana akan mengubah bentuknya kembali secara otomatis ketika semprit ditarik keluar dari lempengan karet tersebut.

c. Kolom

Ada dua tipe utama kolom dalam kromatografi gas-cair. Tipe pertama, tube panjang dan tipis berisi material padatan; Tipe kedua, lebih tipis dan memiliki fase diam yang berikatan dengan pada bagian terdalam permukaannya. Ada tiga hal yang dapat berlangsung pada molekul tertentu dalam campuran yang diinjeksikan pada kolom:

- Molekul dapat berkondensasi pada fase diam.
- Molekul dapat larut dalam cairan pada permukaan fase diam
- Molekul dapat tetap pada fase gas

2. Instrumentasi Spektroskopi massa

a. Sumber Ion

Setelah melewati rangkaian gas kromatografi, sampel gas yang akan diuji dilanjutkan melalui rangkaian spektroskopi massa. Molekul-molekul yang melewati sumber ion ini diserang oleh elektron, dan dipecah menjadi ion positifnya. Tahap ini sangatlah penting karena untuk melewati filter, partikel-partikel sampel haruslah bermuatan.

b. Filter

Selama ion melui rangkaian spektroskopi massa, ion-ion ini melalui rangkaian elektromagnetik yang menyaring ion berdasarkan perbedaan masa. Para ilmuwan memisahkan komponen-komponen massa untuk kemudian dipilih yang mana yang boleh melanjutkan yang mana yang tidak (prinsip penyaringan). Filter ini terus menyaring ion-ion yang berasal dari sumber ion untuk kemudian diteruskan ke detektor.

c. Detektor

Ada beberapa tipe detektor yang biasa digunakan. Detektor ionisasi nyala dijelaskan pada bagian bawah penjelasan ini, merupakan detektor yang umum dan lebih mudah untuk dijelaskan daripada detektor alternatif lainnya. Dalam mekanisme reaksi, pembakaran senyawa organik merupakan hal yang sangat kompleks. Selama proses, sejumlah ion-ion dan elektron-elektron dihasilkan dalam nyala. Kehadiran ion dan elektron dapat dideteksi. Seluruh detektor ditutup dalam oven yang lebih panas dibanding dengan temperatur kolom. Hal itu menghentikan kondensasi dalam detektor. Hasil detektor akan direkam sebagai urutan puncak-puncak; setiap puncak mewakili satu senyawa dalam campuran yang melalui detektor. Sepanjang anda mengontrol secara hati-hati kondisi dalam kolom, anda dapat menggunakan waktu retensi untuk membantu mengidentifikasi senyawa yang tampak-tentu saja anda atau seseorang lain telah menganalisa senyawa murni dari berbagai senyawa pada kondisi yang sama.

2.4.3 Prinsip Kerja Cromatografy Mass Spectrometry (GCMS)

1. Kromatografi Gas (*Gas Chromatography*)

Kromatografi gas (GC) merupakan jenis kromatografi yang digunakan dalam kimia organik untuk pemisahan dan analisis. GC dapat digunakan untuk menguji kemurnian dari bahan tertentu, atau memisahkan berbagai komponen dari campuran. Dalam beberapa situasi, GC dapat membantu dalam mengidentifikasi sebuah senyawa kompleks.

Dalam kromatografi gas, fase yang bergerak (atau "mobile phase") adalah sebuah operator gas, yang biasanya gas murni seperti helium atau yang tidak reactive seperti gas nitrogen. *Stationary* atau fasa diam merupakan tahap mikroskopis lapisan cair atau polimer yang mendukung gas murni, di dalam bagian dari sistem pipa-pipa kaca atau logam yang disebut kolom. Instrumen yang digunakan untuk melakukan kromatografi gas disebut gas chromatograph (atau "aerograph", "gas pemisah").

2. Spektroskopi Massa (*Mass Spectrometry*)

Umumnya spektrum massa diperoleh dengan mengubah senyawa suatu sample menjadi ion-ion yang bergerak cepat yang dipisahkan berdasarkan perbandingan massa terhadap muatan.

Spektroskopi massa mampu menghasilkan berkas ion dari suatu zat uji, memilah ion tersebut menjadi spektrum yang sesuai dengan perbandingan massa terhadap muatan dan merekam kelimpahan relatif tiap jenis ion yang ada. Umumnya hanya ion positif yang dipelajari karena ion negative yang dihasilkan dari sumber tumbukan umumnya sedikit.

3. Kombinasi GCMS

Saat GC dikombinasikan dengan MS, akan didapatkan sebuah metode analisis yang sangat bagus. Peneliti dapat menganalisis larutan organik, memasukkannya ke dalam instrumen, memisahkannya menjadi komponen tinggal dan langsung mengidentifikasi larutan tersebut. Selanjutnya, peneliti dapat menghitung analisa kuantitatif dari masing-masing komponen. Pada Gambar 4, sumbu z menyatakan kelimpahan senyawa, sumbu x menyatakan spektrum kromatografi, dan sumbu y menyatakan spektrum spektroskopi massa. Untuk menghitung masing-masing metode dapat divisualisasikan ke dalam grafik dua dimensi.

4. Metode Analisis Cromatografy Mass Spectrometry (GCMS)

Pada metode analisis GCMS (Gas Cromatografy Mass Spektroskopy) adalah dengan membaca spektra yang terdapat pada kedua metode yang digabung tersebut. Pada spektra GC jika terdapat bahwa dari sampel mengandung banyak senyawa, yaitu terlihat dari banyaknya puncak (*peak*) dalam spektra GC tersebut. Berdasarkan data waktu retensi yang sudah diketahui dari literatur, bisa diketahui senyawa apa saja yang ada dalam sampel.

Selanjutnya adalah dengan memasukkan senyawa yang diduga tersebut ke dalam instrumen spektroskopi massa. Hal ini dapat dilakukan karena salah satu kegunaan dari kromatografi gas adalah untuk memisahkan senyawa-senyawa dari suatu sampel. Setelah itu, didapat hasil dari spektra spektroskopi massa pada grafik yang berbeda.

Informasi yang diperoleh dari kedua teknik ini yang digabung dalam instrumen GC/MS adalah tak lain hasil dari masing-masing spektra. Untuk spektra GC, informasi terpenting yang didapat adalah waktu retensi untuk tiap-tiap senyawa dalam sampel. Sedangkan untuk spektra MS, bisa diperoleh informasi mengenai massa molekul relatif dari senyawa sampel tersebut.

Tahap-tahap suatu rancangan penelitian GC/MS:

1. Sample preparation
2. Derivatisation
3. Injeksi

Menginjeksikan campuran larutan ke kolom GC lewat heated injection port. GC/MS kurang cocok untuk analisa senyawa labil pada suhu tinggi karena akan terdekomposisi pada awal pemisahan.

4. GC separation

Campuran dibawa gas pembawa (biasanya Helium) dengan laju alir tertentu melewati kolom GC yang dipanaskan dalam pemanas. Kolom GC memiliki cairan pelapis (fasa diam) yang inert.

5. MS detector

- Aspek kualitatif : lebih dari 275.000 spektra massa dari senyawa yang tidak diketahui dapat teridentifikasi dengan referensi komputerisasi.
- Aspek kuantitatif : dengan membandingkan kurva standar dari senyawa yang diketahui dapat diketahui kuantitas dari senyawa yang tidak diketahui.

6. Scanning

Spektra massa dicatat secara reguler dalam interval 0,5-1 detik selama pemisahan GC dan disimpan dalam sistem instrumen data untuk digunakan dalam analisis. Spektra massa berupa fingerprint ini dapat dibandingkan dengan acuan.

(Fuad, 2012).

2.5 Metode Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan secara statistik. Sebagai alat yang berfungsi untuk mengolah suatu data, penjabaran metodologi statistik didasarkan pada tiga hal yakni proses analisis, asumsi bentuk distribusi, dan banyaknya variabel yang dilibatkan. Metodologi statistik berdasarkan proses analisisnya meliputi Analisis deskriptif dan analisis konfirmatif (inferensi).

Metode statistika yang meringkas, menyajikan, dan mendeskripsikan data dalam bentuk yang mudah dibaca sehingga memberikan kemudahan dalam memberikan informasi disebut statistika deskriptif. Statistika deskriptif menyajikan data dalam tabel, grafik, ukuran pemusatan data, dan penyebaran data. Agar mendapatkan data lebih terperinci, kita memerlukan analisis data dengan metode statistika tertentu.

2.5.1 Statistik Deskriptif dan Inferensi

Secara garis besar, statistik dibedakan menjadi 2 yaitu statistika deskriptif dan statistika inferensi. Metode statistika yang meringkas, menyajikan, dan mendeskripsikan data dalam bentuk yang mudah dibaca sehingga memberikan kemudahan dalam memberikan informasi disebut statistika deskriptif. Statistika deskriptif menyajikan data dalam tabel, grafik, ukuran pemusatan data, dan penyebaran data. Hasil analisis data akan memberikan informasi lebih rinci sehingga kita memperoleh suatu kesimpulan mengenai suatu fenomena berdasarkan sampel yang diambil. Analisis tersebut dinamakan statistika inferensi. Statistika inferensi sering disebut statistika induktif. Statistika inferensi memerlukan pengetahuan lebih mengenai konsep probabilitas yang biasa dikenal sebagai ilmu peluang. Ilmu peluang tidak lepas dari statistika karena membantu pengambilan keputusan statistik suatu data (Iriawan dan Astuti, 2006).

2.5.2 Analisis Korelasi

Koefisien korelasi Pearson berguna untuk mengukur tingkat keeratan hubungan linear antara 2 variabel. Nilai korelasi berkisaran antara -1 sampai +1 nilai korelasi negatif berarti hubungan antara 2 variabel adalah negatif yang

artinya, apabila salah satu variabel menurun, maka variabel lainnya akan meningkat. Sebaliknya, nilai korelasi positif berarti hubungan antara kedua variabel adalah positif yang artinya, apabila salah satu variabel meningkat, maka variabel dikatakan berkorelasi kuat apabila makin mendekati 1 atau -1. Sebaiknya, suatu hubungan antara 2 variabel dikatakan lemah apabila semakin mendekati 0 (nol).

Hipotesis

Hipotesis untuk uji korelasi adalah :

$$H_0 : \rho = 0$$

$$H_1 : \rho \neq 0$$

Dimana ρ adalah korelasi antara 2 variabel.

Daerah penolakan

$$p\text{-Value} < \alpha$$

Untuk nilai Probabilitas

- Jika probabilitas $> 0,05$, H_0 diterima
- Jika probabilitas $< 0,05$, H_0 ditolak

untuk membuat interpretasi analisis korelasi, ada beberapa hal yang harus diingat, yaitu:

- koefisien korelasi hanya mengukur hubungan linier. Jika ada hubungan non linear, maka koefisien korelasi akan bernilai 0.
- koefisien korelasi sangat sensitif terhadap nilai ekstrem.
- kita bisa membuat korelasi hanya jika variabel memiliki hubungan sebab akibat.

2.5.3 Analisis Regresi

Analisis regresi sangat berguna dalam berbagai penelitian antara lain :

- Model regresi dapat digunakan untuk mengukur kekuatan hubungan antara variabel respon dan variabel prediktor.
- Model regresi dapat digunakan untuk mengetahui pengaruh suatu atau beberapa variabel prediktor terhadap variabel respon.
- Model regresi berguna untuk memperkirakan pengaruh suatu variabel atau beberapa variabel prediktor terhadap variabel respon.

Model regresi memiliki variabel respon (y) dan variabel prediktor (x). Variabel respon adalah variabel yang dipengaruhi suatu variabel prediktor. Variabel respon sering dikenal variabel dependen karena peneliti tidak bisa bebas mengendalikannya. Kemudian, variabel prediktor digunakan untuk memprediksi nilai variabel respon dan sering disebut variabel independent karena peneliti bebas mengendalikannya (Iriawan dan Astuti, 2006).

Kedua variabel dihubungkan dalam bentuk persamaan matematika. Secara umum, bentuk persamaan regresi dinyatakan sebagai berikut :

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \epsilon$$

Pada analisis regresi terdapat uji t untuk menguji signifikansi konstanta dengan variabel bebas atau prediktor.

- Dalam uji t untuk signifikansi konstanta dengan variabel bebas atau prediktor terdapat:

Hipotesis

H_0 : koefisien regresi tidak signifikan

H_1 : koefisien regresi signifikan

Pengambilan keputusan

Untuk nilai t, berdasarkan pada perbandingan t hitung dengan t tabel

- Jika statistik hitung (angka t *output*) > statistik tabel (t tabel), H_0 ditolak.
- Jika statistik hitung (angka t *output*) < statistik tabel (t tabel), H_0 diterima

Untuk nilai Probabilitas

- Jika probabilitas $> 0,05$, H_0 diterima
- Jika probabilitas $< 0,05$, H_0 ditolak
- Nilai T hitung,
- T hitung output $>$ T tabel, H_0 ditolak
- T hitung output $<$ T tabel, H_0 diterima

2.5.4 Analisis Varian (ANOVA) Desain Faktorial

Analysis of Variance atau sering dikenal ANOVA digunakan untuk menyelidiki hubungan antara variabel respon (dependen) dengan 1 atau beberapa variabel prediktor (independent). ANOVA sama dengan regresi, tetapi skala data variabel independen adalah data kategori yaitu skala ordinal atau nominal. Lebih lanjut ANOVA tidak mempunyai nominal (Iriawan dan Astuti, 2006).

Desain faktorial digunakan apabila eksperimen terdiri atas 2 faktor atau lebih, desain faktorial memungkinkan kita melakukan kombinasi antar level vaktor. Kita memerlukan desain faktorial apabila interaksi antar faktor mempengaruhi respon dan apabila menghilangkan interaksi antarfaktor mungkin mempengaruhi kesimpulan, kemudian kita mengetahui bahwa desain faktorial lebih efisien dibandingkan desain n faktor karena bisa mendeteksi pengaruh perbedaan antarlevel faktor pada saat bersamaan, berbeda dengan desain n faktor pengaruh interaksi tidak bisa dideteksi (Iriawan dan Astuti, 2006).

Dalam Analisis ANOVA terdapat hipotesis masalah, yaitu :

$$H_0 = \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau_4 = \tau_5 = 0$$

(rata-rata sampel tiap perlakuan sama)

$$H_1 = \tau_1 \neq \tau_2 \neq \tau_3 \neq \tau_4 \neq \tau_5 \neq 0$$

(ada perlakuan yang rata-ratanya tidak sama)

Sementara dalam pengambilan keputusan akan didasarkan pada nilai probabilitas dan nilai F hitung, yaitu :

Nilai probabilitas,

Jika probabilitas $\geq 0,05$, H_0 diterima

Jika probabilitas $< 0,05$, H_0 ditolak

Nilai F hitung,

F hitung output $>$ F tabel, H_0 ditolak

F hitung output $<$ F tabel, H_0 diterima

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini termasuk dalam penelitian Laboratorium yang dilaksanakan dalam skala laboratorium. Adapun jenis penelitian yang dilakukan adalah mendaur ulang sampah plastik dengan memanfaatkan sampah plastik jenis *polyetheylene terephthalate* (PET) dan sampah plastik jenis *High Density Polyethylene* (HDPE) menjadi minyak menggunakan metode destilasi bertingkat guna menghasilkan minyak sebagai sumber energi alternatif.

3.2 Lokasi Penelitian

Lokasi Laboratorium Teknik Lingkungan Institut Teknologi Nasional Malang digunakan sebagai tempat penelitian dan analisa uji parameter minyak yang dihasilkan dari pemanfaatan sampah plastik jenis *polyetheylene terephthalate* (PET) dan sampah plastik jenis *High Density Polyethylene* (HDPE) menjadi minyak menggunakan metode destilasi bertingkat

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

3.3.1 Alat

a. Reaktor Pirolisis

Reaktor pirolisis digunakan sebagai wadah untuk penyimpanan sampel yang akan di pirolisis.

b. Kondensor atau pendingin

Kondensor atau pendingin yang digunakan berguna untuk mendinginkan uap destilat yang melewati kondensor sehingga menjadi cair. Kondensor atau pendingin yang digunakan menggunakan pendingin air dimana air yang masuk berasal dari bawah dan keluar di atas, karena jika airnya berasal (masuk) dari atas maka air dalam pendingin atau kondensor tidak akan memenuhi isi pendingin sehingga tidak dapat digunakan untuk

mendinginkan uap yang mengalir lewat kondensor tersebut. Berdasarkan hal tersebut, pendingin atau kondensor air masuknya harus dari bawah sehingga pendingin atau kondensor akan terisi dengan air maka dapat digunakan untuk mendinginkan komponen zat yang melewati kondensor tersebut dari berwujud uap menjadi berwujud cair. Kondensor atau pendingin yang digunakan 1 buah.

c. Alat Destilasi Bertingkat atau fraksinasi

Alat ini digunakan sebagai proses pemisahan dua atau lebih komponen zat cair berdasarkan pada titik didih. Secara sederhana destilasi dilakukan dengan memanaskan/menguapkan zat cair lalu uap tersebut didinginkan kembali supaya jadi cair dengan bantuan kondensor. Destilasi digunakan untuk memurnikan zat cair, yang didasarkan atas perbedaan titik didih cairan. Pada proses ini cairan berubah menjadi uap. Uap ini adalah zat murni. Kemudian uap ini didinginkan pada pendingin ini, uap mengembun menjadi cairan murni yang disebut destilat.

d. Trap

Trap atau alat vakum untuk membuat kondisi tekanan rendah pada destilasi bertingkat.

e. Pompa vakum

Pompa vakum digunakan untuk menaikkan tekanan pada trap.

f. Manometer

Manometer digunakan untuk mengukur besarnya tekanan yang terjadi pada pompa vakum.

g. Termocouple

Termocouple digunakan untuk mengamati suhu pada reaktor pirolisis.

h. Gelas Ukur

Gelas ukur digunakan sebagai wadah untuk menampung destilat yang diperoleh dari proses pirolisis. Gelas ukur yang digunakan berukuran 100 ml.

i. Pemanas

Pemanas digunakan untuk memanaskan sampel yang terdapat pada labu alas bulat.

j. Statif dan Klem

Statif dan Klem digunakan untuk menyangga bagian-bagian dari peralatan destilasi sederhana sehingga tidak jatuh atau goyang. Statif dan Klem yang digunakan sebanyak 2 buah.

k. Neraca Analitik

Neraca analitik digunakan untuk menimbang bahan yang digunakan.

l. Viskosimeter

Viskosimeter digunakan untuk mengukur viskositas minyak yang dihasilkan.

m. Kalorimeter Bom

Kalorimeter Bom digunakan untuk mengukur nilai kalor minyak yang dihasilkan.

n. Aero meter

Aero meter digunakan untuk mengukur densitas minyak hasil destilasi.

o. Gunting

Gunting digunakan untuk memotong sampah plastik jenis *polyetheylene terephthalate* (PET) dan sampah plastik jenis *High Density Polyethylene* (HDPE).

3.3.2 Bahan

- a. Sampah plastik jenis *polyetheylene terephthalate* (PET) yaitu botol air mineral, botol jus, wadah selai, botol plastik kecap dan saus.
- b. Sampah plastik jenis *High Density Polyethylene* (HDPE) yaitu wadah es krim, wadah shampoo, wadah sabun cair, tutup plastik

3.4 Variabel Penelitian

1. Variabel tetap

- Jenis dan diameter bahan

1. Sampah plastik jenis polyetheylene terephthalate (PET) berukuran 1 cm.
2. Sampah plastik jenis *High Density Polyethylene* (HDPE) berukuran 1 cm.
 - Proses pirolisis menggunakan suhu 420⁰C dengan waktu 60 menit untuk sampah plastik jenis HDPE dan untuk sampah plastik jenis PET suhu 300⁰C dengan waktu 40 menit.
2. Variabel terikat
 - nilai kalor
 - massa jenis
 - viskositas
 - gc-ms
3. Variabel bebas
 - A. Variasi Suhu (⁰C) pada destilasi sampah plastik menjadi minyak
150; 160; 170
 - B. Variasi Tekanan rendah (mmHg) pada destilasi bertingkat sampah plastik menjadi minyak
50;70;10

3.5 Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan. Tahapan-tahapan tersebut adalah sebagai berikut :

3.5.1 Persiapan Bahan

Bahan yang akan digunakan seperti sampah plastik jenis polyetheylene terephthalate (PET) dan sampah plastik jenis high density polyethylene (HDPE), harus dicuci terlebih dahulu. Hal ini bertujuan supaya bahan yang digunakan dalam keadaan bersih dan steril dari kotoran. Kemudian, sampah plastik jenis *polyetheylene terephthalate* (PET) dan sampah plastik jenis *high density polyethylene* (HDPE) dilakukan pengeringan dengan menggunakan sinar matahari bertujuan untuk mengeringkan bahan yang akan digunakan dalam penelitian dan

bersih dari kotoran yang menempel. Kemudian bahan ditimbang sesuai dengan variasi yang dibutuhkan dengan neraca analitik.

3.5.2 Persiapan Alat

Menyusun alat pirolisis terdiri atas reaktor pirolisis, kondensor (pendingin), termocouple, gelas ukur, pemanas. Peralatan lainnya sebagai penunjang adalah statif dan klem, adaptor (penghubung), selang yang dihubungkan pada kondensor tempat air masuk dan air keluar.

Setelah alat pirolisis telah disiapkan, sampah plastik jenis *polyetheylene terephthalate* (PET) dan sampah plastik jenis *high density polyethylene* (LDPE) sebesar 600 gr dimasukkan kedalam reaktor pirolisis yang telah diatur secara rapi. Kemudian, mengatur alat pemanas dan melakukan langkah penelitian yang sama untuk bahan plastik jenis lainnya. Hasil dari proses pirolisis yang keluar dari kondensor diambil kemudian di destilasi dengan variasi suhu dan variasi tekanan serta dianalisis sesuai parameter yang diukur.

3.5.3 Pengujian Sampel Awal

Sampah plastik jenis *polyetheylene terephthalate* (PET) dan sampah plastik jenis *high density polyethylene* (HDPE) yang digunakan sebagai objek penelitian ini diambil dari sisa barang bekas plastik yang dihasilkan sehari-hari. Sebelum memulai penelitian ini, dilakukan pemilahan dan pengumpulan sampah sesuai dengan jenis sampah plastik yang digunakan yaitu plastik botol air mineral, botol jus, wadah selai, botol platik kecap dan saus (jenis PET) dan sampah plastik jenis *high density polyethylene* (HDPE) yaitu wadah es krim, wadah shampoo, wadah sabun cair dan tutup plastik. Kemudian, setelah sampah plastik dicuci dan dikeringkan ditimbang sesuai kebutuhan dengan neraca analitik dan catat berat awal sampah plastik.

3.5.4 Tahap operasional

Prosedur pengoperasian ini dilakukan setelah tersusunnya alat pirolisis secara lengkap. Berikut tahapan operasional dalam penelitian ini:

- a. Memasang alat pirolisis
- b. Memasukkan Sampah plastik jenis polyetheylene terephthalate (PET) dan sampah plastik jenis high density polyethylene (HDPE) yang berisi sampah plastik 600 gr dan ditampung dalam keranjang reaktor pirolisis dan ditimbang.
- c. Setelah menimbang bahan, kemudian menyiapkan kompor gas.
- d. Menghidupkan kompor gas menggunakan tabung gas 2 kg..
- e. Untuk sampah plastik jenis HDPE setelah suhu 420°C pada menit ke 60 mengamati volume minyak, sedangkan untuk sampah plastik jenis PET setelah suhu 300°C pada menit ke 40 mengamati volume minyak.
- f. Mencatat volume minyak hasil pirolisis.
- g. Melakukan destilasi pada hasil minyak pirolisis dengan variasi suhu (150°C , 160°C , 170°C) dan variasi tekanan (50 mmHg, 70mmHg, 100 mmHg)
- h. Mencatat volume minyak yang dihasilkan pada saat didapatkan destilat.
- i. Melakukan uji parameter massa jenis, viskositas, nilai kalor serta gc-ms pada minyak yang dihasilkan.

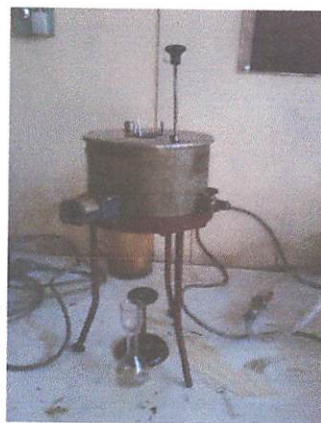
3.6 Analisis Parameter Uji

Analisa parameter uji massa jenis, viskositas, nilai kalor dan gc-ms minyak hasil destilasi dilakukan di laboratorium. Analisis dalam memperoleh massa jenis minyak yaitu dengan menggunakan alat aero meter. Berikut gambar alat aero meter.



Gambar 3.1 Alat Aerometer

Sedangkan, analisis viskositas minyak yang dihasilkan dengan menggunakan alat viskosimeter.



Gambar 3.2 Alat Viskometer

Analisis nilai kalor bahan bakar dapat diketahui dengan menggunakan kalorimeter bom. Kalorimeter bom adalah alat yang digunakan untuk mengukur jumlah kalor (nilai kalor) yang dibebaskan pada pembakaran sempurna (dalam O_2 berlebih) suatu bahan bakar. Sejumlah sampel ditempatkan pada tabung beroksigen yang tercelup dalam medium penyerap kalor (kalorimeter), dan sampel akan terbakar oleh api listrik dari kawat logam terpasang dalam tabung.



Gambar 3.3 Alat Kalorimeter Bom

Sedangkan untuk mengetahui komponen dalam suatu sampel minyak yang dihasilkan menggunakan alat GC-MS. Instrumen alat ini adalah gabungan dari alat GC dan MS, hal ini berarti sampel yang hendak diperiksa diidentifikasi dahulu dengan alat GC (Gas Chromatography) baru, kemudian diidentifikasi dengan alat MS (Mass Spectrometry). GC dan MS merupakan kombinasi kekuatan yang simultan untuk memisahkan dan mengidentifikasi komponen-komponen campuran.



Gambar 3.4 Alat GC-MS

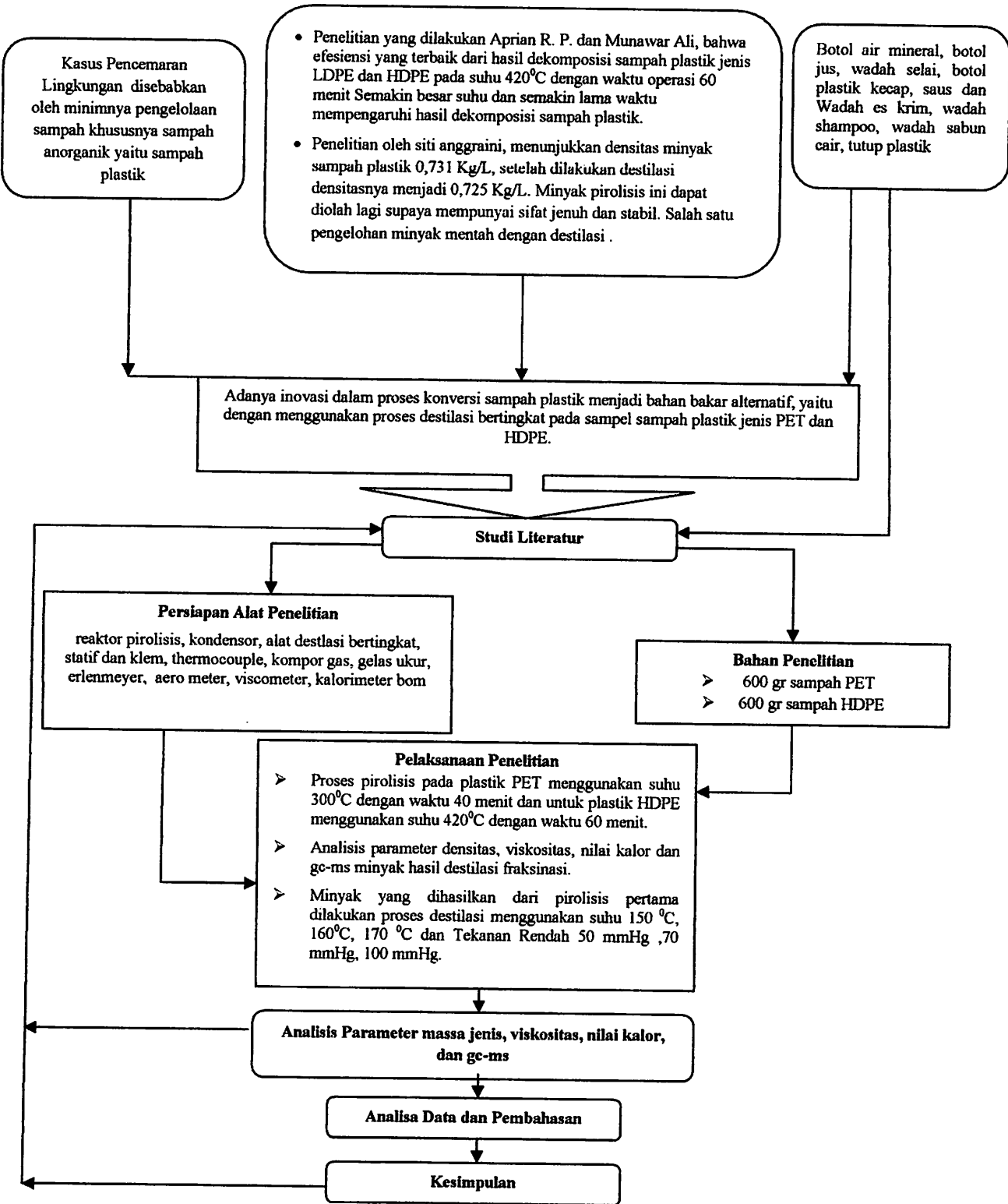
3.7 Analisis Data

Analisa data statistik hasil penelitian dilakukan dengan metode analisis deskriptif, uji korelasi dan regresi. Analisis deskriptif ditujukan untuk mendapatkan gambaran berdasarkan fakta yang diperoleh dari sampel penelitian

yang ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik. Analisa korelasi dan regresi untuk mengetahui tingkat keterkaitan massa plastik yang terurai dengan minyak yang dihasilkan dari proses destilasi Sampah plastik jenis polyetheylene terephthalate (PET) dan sampah plastik jenis high density polyethylene (HDPE).

Analisa varian untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan nyata atau tidak (secara statistik) terhadap suhu dan tekanan pada destilasi bertingkat sampah jenis PET dan sampah plastik jenis HDPE.

3.8 Kerangka Penelitian



Gambar 3.4 Diagram Alir Kerangka Penelitian

BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Data

Analisis data atau pengolahan data dilakukan untuk menyederhanakan data dalam bentuk yang lebih mudah dibaca dan diinterpretasi. Analisis data meliputi volume minyak hasil sampah plastik, nilai kalor, densitas, viskositas dan gc-ms.

4.1.1 Hasil Pengamatan Penelitian

Sampah plastik jenis PET dan HDPE merupakan bahan dalam pengolahan sampah plastik menjadi bahan bakar alternatif ini awalnya diproses menggunakan alat pirolisis yang bertujuan untuk menghasilkan minyak dari sampah plastik jenis PET dan sampah plastik jenis HDPE kemudian dilanjutkan ke tahap destilasi bertingkat dengan tujuan memurnikan minyak hasil pirolisis. Jumlah volume minyak hasil proses pirolisi dan proses destilasi bertingkat dapat dilihat pada tabel berikut.

Jenis Sampah Plastik	Proses Pirolisis			Proses Destilasi Bertingkat		
	Suhu (°C)	Waktu (menit)	Rata-rata volume minyak	Suhu (°C)	Tekanan Rendah (mmHg)	Rata-rata volume minyak
PET	300	40 & 120	9 ml & 21 ml	150	50	11 ml
			9 ml & 18 ml	160	70	12,5 ml
			13 ml & 27 ml	170	100	15 ml
HDPE	420	60 & 120	23 ml & 30 ml	150	50	10 ml
			24 ml & 38 ml	160	70	11 ml
			22 ml & 30 ml	170	100	11 ml

Tabel 4.1 Data Hasil Pengamatan Penelitian

4.1.2 Hasil Analisis

Berdasarkan hasil analisis minyak sampah plastik jenis PET dan sampah plastik jenis HDPE sebagai berikut.

a. Data Densitas

Minyak sampah plastik jenis PET dan sampah plastik jenis HDPE dari proses destilasi bertingkat dianalisis untuk mengetahui massa jenis pada minyak sampah plastik, analisis ini dilakukan dengan tujuan untuk menentukan suatu zat karena setiap zat memiliki massa jenis yang berbeda. Minyak hasil destilasi bertingkat sampah plastik PET dan sampah plastik HDPE dapat dilihat pada tabel 4.2 berikut ini.

Tabel 4.2 Densitas Minyak Hasil Destilasi Bertingkat Sampah Plastik

Produk	Densitas (gram/ml)	
	Minyak Plastik PET	Minyak Plastik HDPE
Minyak suhu 150°C dengan tekanan rendah 50 mmHg	0,744	0,752
Minyak suhu 160°C dengan tekanan rendah 70 mmHg	0,730	0,728
Minyak suhu 170 °C dengan tekanan rendah 100 mmHg	0,719	0,719

b. Data Viskositas

Minyak sampah plastik jenis PET dan sampah plastik jenis HDPE dari proses destilasi bertingkat dianalisis untuk mengetahui viskositas pada minyak sampah plastik, analisis ini dilakukan dengan tujuan untuk menentukan koefisien kekentalan pada minyak. Hasil viskositas minyak sampah plastik PET dan sampah plastik HDPE dapat dilihat pada tabel 4.3 berikut ini.

Tabel 4.3 Viskositas Minyak Hasil Destilasi Bertingkat Sampah Plastik

Produk	Viskositas (cst)	
	Minyak Plastik PET	Minyak Plastik HDPE
Minyak suhu 150°C dengan	39,62	40,01

Produk	Viskositas (cst)	
	Minyak Plastik PET	Minyak Plastik HDPE
tekanan rendah 50 mmHg		
Minyak suhu 160°C dengan tekanan rendah 70 mmHg	38,91	39,01
Minyak suhu 170 °C dengan tekanan rendah 100 mmHg	38,72	37,61

c. Data Nilai Kalor

Minyak sampah plastik jenis PET dan sampah plastik jenis HDPE dari proses destilasi bertingkat dianalisis untuk mengetahui nilai kalor pada minyak sampah plastik, analisis ini dilakukan dengan tujuan untuk menentukan nilai panas pembakaran. Hasil nilai kalor minyak sampah plastik PET dan sampah plastik HDPE dapat dilihat pada tabel 4.4 berikut ini.

Tabel 4.4 Nilai Kalor Minyak Hasil Destilasi Bertingkat Sampah Plastik

Produk	Nilai Kalor (Calori/Gram)	
	Minyak Plastik PET	Minyak Plastik HDPE
Minyak suhu 150°C dengan tekanan rendah 50 mmHg	10144,686	10096,121
Minyak suhu 160°C dengan tekanan rendah 70 mmHg	10531.209	10529.809
Minyak suhu 170 °C dengan tekanan rendah 100 mmHg	10674,005	11059.428

d. Data Uji GC-MS

Hasil nilai uji gc-ms merk varian dengan GC tipe CP-3800 dan MS tipe saturn 2200 pada tanggal 18 Agustus 2015 minyak sampah plastik jenis PET dan sampah plastik jenis HDPE dapat dilihat pada gambar berikut.

Tabel 4.5 Kandungan senyawa-senyawa pada sampah plastik PET dan HDPE

Jenis Sampah	Nama Senyawa		
	150°C dan Tekanan 50 mmHg	160°C dan Tekanan 70 mmHg	170°C dan Tekanan 100 mmHg
PET	Decane, 3,3,4-trimethyl-	Nonadecane	Sulfurous acid, octyl 2-pentyl ester
	Sulfurous acid, octyl 2-pentyl ester	Hexadecane	Decane, 3,3,4-trimethyl-
	Heptane, 4-methyl-	Pentadecane	Pentane, 2,2,3,3-tetramethyl-
HDPE	Sulfurous acid, octyl 2-pentyl ester	2,3-diazabicyclo[2.2.1]hept-2-ene, 7-isopropyl	Cyclohexane, 1-ethyl-1,3-dimethyl-,trans-
	Decane, 3,3,4-trimethyl-	Cyclopentane, (1-methylethylidene)-	Cyclohexane, 1,2-diethyl-, cis-
	Heptane, 4-methyl-	Cyclopentane, 1-(1-methylethyl)-	Cyclohexane, 1,4-dimethyl-2-(2-methylpropyl)-, (1.alpha.,2,5.alpha.)

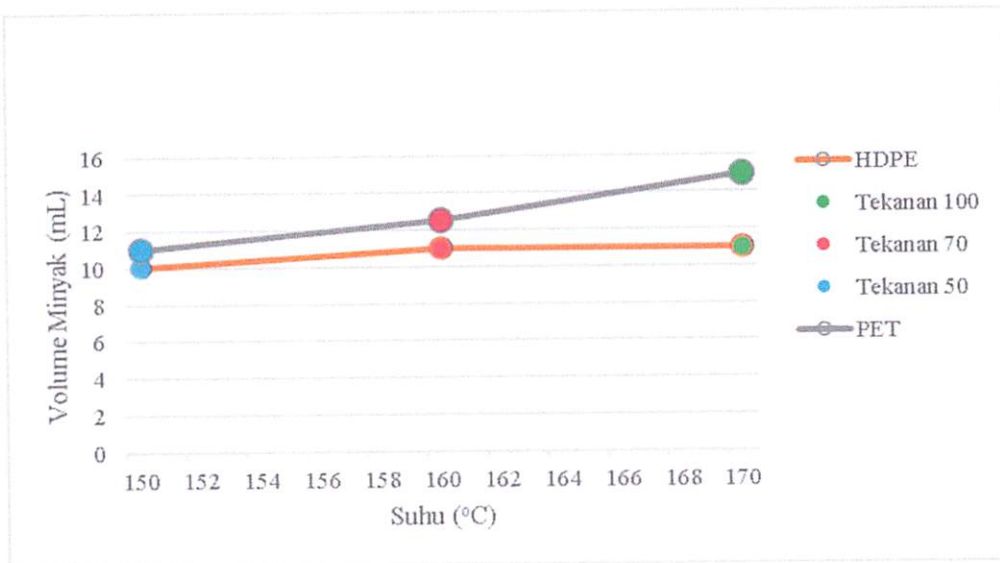
4.2 Analisis Deskriptif

Analisis deskriptif berdasarkan data hasil penelitian sampah PET dan sampah HDPE sebagai berikut.

4.2.1 Hubungan Antara Suhu Terhadap Volume Minyak pada Sampah Plastik Jenis PET dan HDPE dengan Berbagai Tekanan

Berdasarkan tabel 4.1 diketahui bahwa selama proses destilasi bertingkat dilakukan, volume minyak sampah plastik dari proses destilasi bertingkat

mengalami peningkatan jumlah volume pada masing-masing suhu dan tekanan rendah.



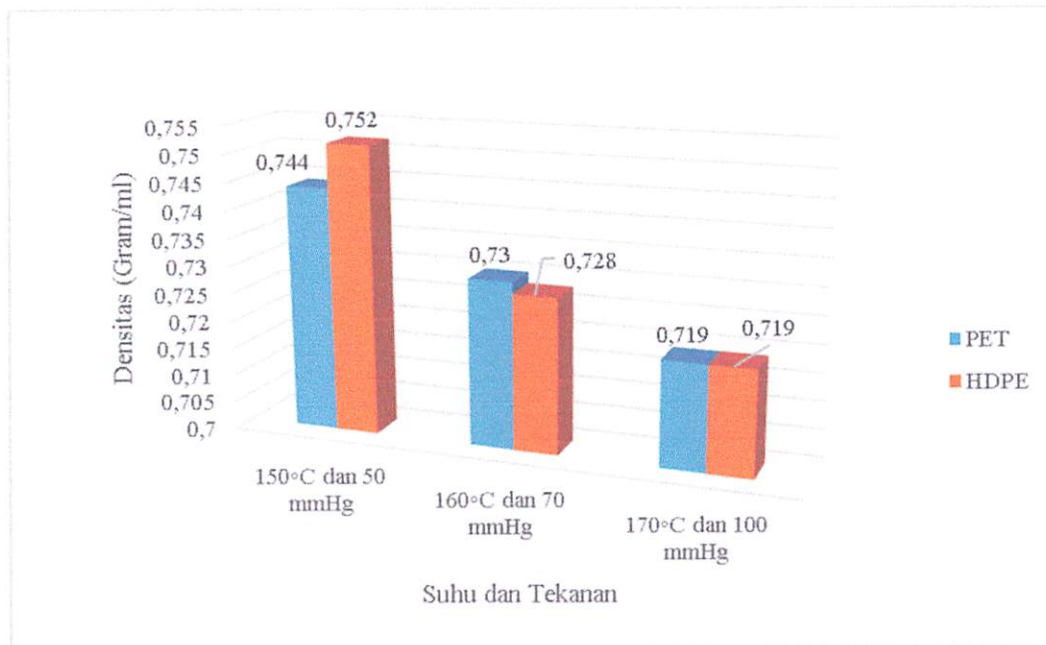
Gambar 4.1 Hubungan Antara Suhu Terhadap Volume Minyak Sampah Pada Berbagai Tekanan

Berdasarkan gambar 4.7 hubungan antara suhu terhadap volume minyak sampah plastik diketahui bahwa mengalami peningkatan volume minyak destilat yang dihasilkan. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi suhu dan tekanan rendah, maka semakin banyak fase cair yang menguap kemudian terkondensasi sehingga semakin meningkat volume destilat yang diperoleh. Volume minyak destilasi bertingkat sampah plastik PET terendah pada suhu 150°C pada tekanan rendah 50 mmHg sebesar 11 ml dan meningkat pada suhu 170°C pada tekanan rendah 100 mmHg sebesar 15 ml. Sedangkan, volume minyak hasil destilasi sampah HDPE terendah pada suhu 150°C dan tekanan rendah 50 mmHg sebesar 10 ml. Volume tertinggi pada suhu 160°C pada tekanan 70 mmHg dan suhu 170°C pada tekanan 100 mmHg sebesar 11 ml.

4.2.2 Pengaruh Suhu Dan Tekanan Terhadap Densitas Sampah Plastik Jenis PET Dan Sampah Plastik HDPE

Berdasarkan tabel 4.3 pengaruh suhu dan tekanan terhadap densitas minyak sampah plastik jenis PET dan HDPE bahwa semakin meningkatnya suhu dan

tekanan rendah mengalami penurunan densitas. Data tabel 4.2 tersebut dapat diplotkan berupa gambar 4.8 sebagai berikut:

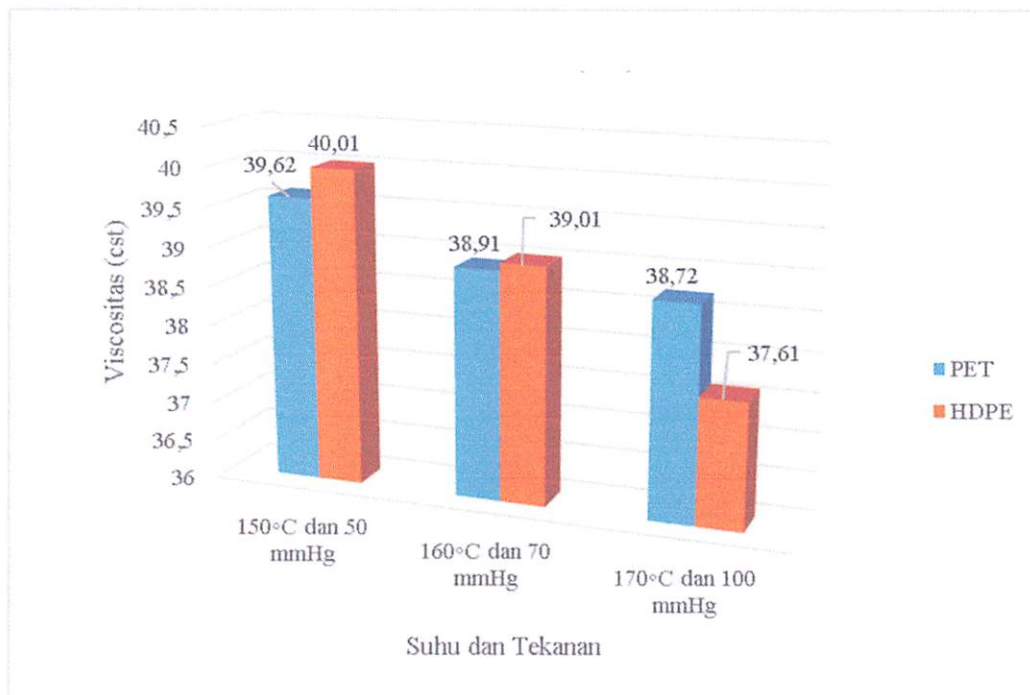


Gambar 4.8 Densitas (Gram/ml) Minyak Sampah Plastik

Berdasarkan gambar 4.8 pengaruh suhu dan tekanan rendah terhadap densitas minyak sampah plastik jenis PET dan HDPE mengalami penurunan densitas. Densitas terendah minyak sampah plastik jenis PET pada suhu 170°C dengan nilai densitas 0,719 gram/ml. Sedangkan, densitas tertinggi jenis PET pada suhu 150°C dengan nilai densitas 0,744 gram/ml. Untuk densitas terendah minyak sampah plastik jenis HDPE pada suhu 170°C dengan nilai densitas 0,719 gram/ml. Sedangkan, densitas tertinggi minyak sampah plastik jenis HDPE pada suhu 150°C dengan nilai densitas 0,752 gram/ml.

4.2.3 Pengaruh Suhu Dan Tekanan Terhadap Viskositas Sampah Plastik Jenis PET Dan Sampah Plastik HDPE

Berdasarkan tabel 4.3 pengaruh suhu dan tekanan terhadap viskositas sampah plastik jenis PET dan HDPE bahwa meningkatnya suhu dan tekanan rendah mengalami penurunan nilai viskositas. Data tabel 4.3 tersebut dapat diplotkan berupa gambar 4.9 sebagai berikut:

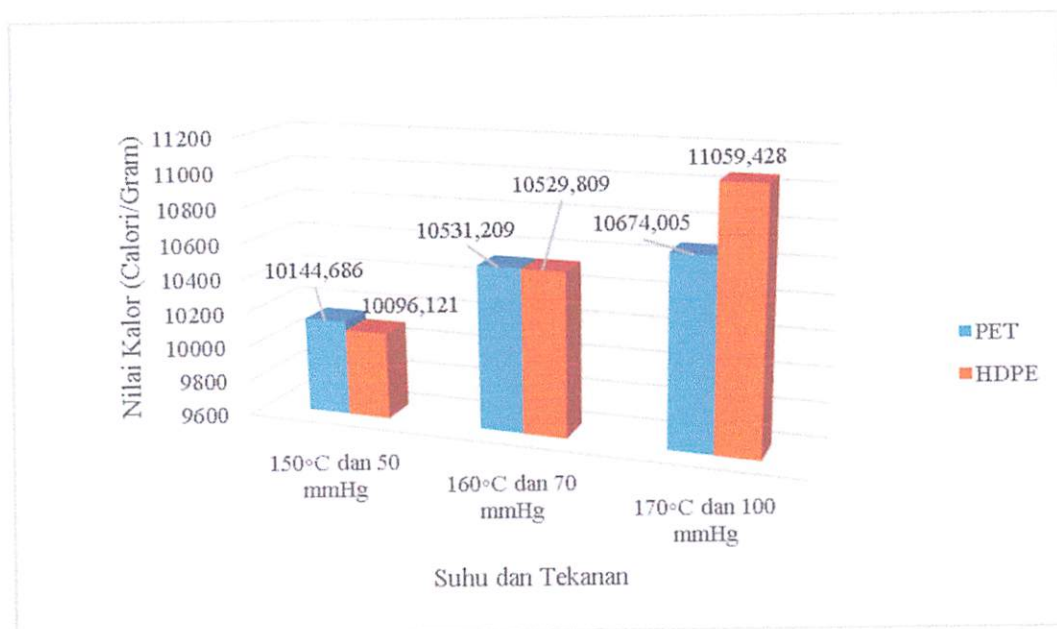


Gambar 4.9 Viskositas (Cst) Minyak Sampah Plastik

Berdasarkan gambar 4.9 pengaruh suhu dan tekanan rendah terhadap viskositas minyak sampah plastik jenis PET dan HDPE mengalami penurunan viskositas. Viskositas terendah minyak sampah plastik jenis PET pada suhu 170°C dan tekanan 100 mmHg dengan nilai sebesar 38,72 cst. dan viskositas tertinggi pada suhu 150°C dan tekanan 50 mmHg dengan nilai sebesar 39,62 cst. Untuk viskositas terendah minyak sampah plastik jenis HDPE pada suhu 170°C dan tekanan 100 mmHg dengan nilai sebesar 37,61 cst dan viskositas tertinggi pada suhu 150°C dan tekanan 50 mmHg dengan nilai sebesar 39,62 cst.

4.2.4 Pengaruh Suhu Dan Tekanan Terhadap Nilai Kalor Sampah Plastik Jenis PET Dan Sampah Plastik HDPE

Berdasarkan tabel 4.4 pengaruh suhu dan tekanan terhadap nilai kalor sampah plastik jenis PET dan HDPE bahwa meningkatnya suhu dan tekanan rendah mengalami peningkatan nilai kalor. Data tabel 4.4 tersebut dapat diplotkan berupa gambar 4.10 sebagai berikut:



Gambar 4.10 Nilai Kalor (Calori/Gram) Minyak Sampah Plastik

Berdasarkan gambar 4.10 pengaruh suhu dan tekanan rendah terhadap nilai kalor minyak sampah plastik jenis PET dan HDPE mengalami peningkatan nilai kalor. Nilai kalor tertinggi minyak sampah plastik jenis PET pada suhu 170°C dengan nilai kalor 110673,005 calori/gram dan nilai kalor terendah pada suhu 150°C dengan nilai kalor 10144,686 calori/gram. Untuk nilai kalor tertinggi minyak sampah plastik jenis HDPE pada suhu 170°C dengan nilai kalor 10144,686 calori/gram dan nilai kalor pada suhu 150°C dengan nilai kalor 10096,121 calori/gram.

4.3 Pembahasan

Pada bagian dijelaskan tentang hasil penelitian diperoleh diantaranya korelasi densitas dan viskositas terhadap nilai kalor serta korelasi pengaruh suhu dan tekanan terhadap nilai kalor yang berdasarkan data-data kuantitasnya.

4.3.1 Korelasi Pengaruh Suhu Dan Tekanan Terhadap Nilai Kalor

Proses pengolahan sampah plastik menjadi bahan bakar alternatif ini awalnya diproses menggunakan alat pirolisis yang bertujuan untuk menghasilkan minyak, kemudian dilanjutkan ke tahap destilasi bertingkat dengan tujuan

memurnikan minyak hasil pirolisis. Sampah plastik yang digunakan dalam penelitian ini jenis PET dan jenis HDPE dengan massa 600 gram. Proses pirolisis menggunakan variasi suhu dan waktu, dimana sampah plastik jenis PET dengan suhu 300°C pada waktu 40-120 menit dan sampah plastik jenis HDPE dengan suhu 420°C pada waktu 60-120 menit. Pada proses destilasi bertingkat sampah plastik jenis PET dan sampah plastik jenis HDPE menggunakan variasi suhu 150°C, 160°C, 170°C dan tekanan 50, 70, 100 mmHg.

Proes pirolisis dengan variasi suhu dan waktu mempengaruhi volume minyak yang dihasilkan. Berdasarkan hasil analisis menunjukkan bahwa volume minyak terbaik jenis PET yaitu sebesar 13 ml dan 27 ml dengan waktu 40 menit dan 120 menit pada suhu 300°C sedangkan untuk volume minyak terbaik jenis HDPE yaitu sebesar 24 ml dan 38 ml dengan waktu 60 meont dan 120 menit pada suhu 420°C. Peningkatan volume minyak pirolisis disebabkan dengan lamanya waktu operasi dan suhu yang semakin meningkat sehingga jumlah padatan yang berada dalam reaktor akan semakin kecil dan jumlah volume semakin meningkat. Waktu berpengaruh pada produk yang akan dihasilkan karena, semakin lama waktu proses pirolisis berlangsung. produk yang dihasilkannya (residu padat, tar, dan gas) makin naik. (Wahyudi, 2001)

Proses destilasi bertingkat dengan variasi suhu dan tekanan mempengaruhi volume minyak yang dihasilkan. Berdasarkan hasil analisis menunjukkan bahwa volume minyak terbaik yaitu sampah plastik jenis PET sebesar 15 ml pada suhu 170°C tekanan 100 mmHg dan volume terendah sebesar 12,5 mL pada suhu 150 °C tekanan 50 mmHg. Semakin tinggi suhu dan tekanan maka volume minyak yang dihasilkan akan semakin banyak, sebaliknya semakin kecil suhu dan tekanan maka volume minyak yang dihasilkan akan semakin sedikit. Menurut Bessler & Williams (1996), Suhu sangat mempengaruhi produk yang dihasilkan karena sesuai dengan persamaan Arrhenius, suhu makin tinggi nilainya konstanta dekomposisi termal makin besar akibatnya laju pirolisis bertambah dan konversi naik. Meningkatnya volume minyak disebabkan semakin tinggi suhu pemanasan selama proses maka zat-zat yang terkandung dalam plastik akan terurai dengan sempurna. Zat-zat tersebut terurai menjadi gas dan cair (minyak). Ketika

laju pemanasan meningkat banyaknya gas seperti CO, CO₂, CH₄ dan C₂H₆ dan gas lainnya semakin meningkat. Hal tersebut menunjukkan bahwa laju pemanasan yang lebih tinggi akan melepaskan gas hidrokarbon. Produk minyak yang dihasilkan semakin meningkat seiring dengan laju pemanasan. Pada temperatur yang lebih tinggi akan menghasilkan minyak yang lebih banyak dan menurunkan hasil padatan

Proses destilasi bertingkat dengan variasi suhu dan tekanan juga mempengaruhi nilai kalor minyak yang dihasilkan. Berdasarkan hasil analisis menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu dan tekanan, maka nilai kalor minyak hasil destilasi bertingkat akan semakin besar, sebaliknya semakin rendah suhu dan tekanan, maka nilai kalor minyak hasil destilasi bertingkat semakin kecil. Semakin tinggi panas yang dihasilkan oleh bahan, maka semakin tinggi nilai kalor minyak yang dihasilkan. Kalor pembakaran adalah energi yang dibebaskan bila suatu senyawa teroksidasi sempurna menjadi CO₂ dan H₂O. Pembakaran dikatakan sempurna jika tidak menghasilkan CO atau kadang-kadang karbon dalam bentuk arang atau jelaga. Harga kalor pembakaran terutama tergantung pada banyaknya Hidrogen (H) dan karbon (C) dalam sebuah molekul (Fessenden, 1997). Encinar, J.M., *et. al*, (2009) menyatakan bahwa temperatur yang lebih tinggi maka hasil gas akan semakin banyak, hasil minyak akan meningkat sampai batas tertentu kemudian menurun, sedangkan hasil padatan cenderung rendah. Semakin tinggi temperatur nilai kalor untuk hasil gas akan meningkat, untuk hasil padatan cenderung konstan, sedangkan untuk hasil minyak akan semakin menurun. Hal itu sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Siti Aggraini (2014) bahwa pada suhu terendah 150⁰C minyak botol air mineral sebesar 42,101 MJ/kg dan minyak kantong plastik 40,7030 MJ/kg, sedangkan pada suhu tertinggi 300⁰C minyak botol air mineral sebesar 42,811 MJ/kg dan minyak kantong plastik 41,938MJ/kg. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu maka nilai kalor akan semakin besar atau meningkat.

4.3.2 Korelasi Densitas Dan Viskositas Terhadap Nilai Kalor

Proses destilasi bertingkat dengan variasi suhu dan tekanan mempengaruhi nilai densitas minyak yang dihasilkan. Berdasarkan hasil analisis menunjukkan bahwa densitas minyak terbaik sampah plastik jenis HDPE pada minyak suhu 150°C dan tekanan rendah 50 mmHg sebesar 0,752 gram/ml. Semakin tinggi suhu dan tekanan pada minyak, maka nilai densitas minyak mengalami penurunan, dimana densitas minyak terendah sampah plastik jenis HDPE pada minyak suhu 170°C dan tekanan rendah 100 mmHg sebesar 0,719 gram/ml. Pada saat suhu dan tekanan rendah dinaikan maka volume massa minyak sampah plastik akan berkurang sehingga densitas yang diperoleh semakin kecil. Massa jenis atau densitas adalah pengukuran massa pada setiap volume benda (Adityo Suryo, 2011). Berat jenis suatu benda adalah massa jenis benda dibagi dengan massa jenis standar, maka berat jenis merupakan suatu perbandingan dari massa jenis suatu benda terhadap massa jenis substansi standar (Bresnick, 2002). Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Sitti Anggraini (2014), pada temperatur 150°C menghasilkan massa jenis minyak kantong plastik 0,909 Kg/L dan massa jenis minyak botol air mineral 0,737 Kg/L dengan menggunakan jumlah sampah plastik 300 gram sedangkan, pada temperatur 300°C menghasilkan massa jenis minyak kantong plastik 0,901 Kg/L dan massa jenis minyak botol air mineral 0,725 Kg/L menggunakan jumlah sampah plastik 300 gram.

Proses destilasi bertingkat dengan variasi suhu dan tekanan mempengaruhi nilai viskositas minyak yang dihasilkan. Viskositas minyak terbaik terdapat pada minyak sampah plastik jenis HDPE dari hasil destilasi bertingkat adalah 40,01 cst, sedangkan viskositas terendah terdapat pada minyak sampah plastik jenis HDPE dari hasil destilasi bertingkat adalah 37,61 cst. Viskositas merupakan sifat yang sangat penting dalam penyimpanan dan penggunaan bahan bakar minyak. Viskositas mempengaruhi derajat pemanasan awal yang diperlukan untuk handling, penyimpanan dan atomisasi yang memuaskan. Jika minyak terlalu

kental, maka akan menyulitkan pemompaan, sulit untuk menyalakan burner, dan sulit dialirkan (Nur Robi'ah, 2005).

Viskositas biasanya dinyatakan dalam waktu yang diperlukan untuk mengalir pada jarak tertentu. Jika viskositas semakin tinggi, maka tahanan untuk mengalir akan semakin tinggi (Shreve, 2005). Semakin besarnya suhu dan tekanan menyebabkan nilai viskositas mengalami penurunan. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Joko Santoso (2010), kekentalan minyak tertinggi diperoleh dari hasil pirolisis plastik LDPE dengan suhu reaktor 300°C yaitu sebesar 0,75 cP. Kekentalan hasil pirolisis plastik PP dengan suhu reaktor 450°C yaitu sebesar 0,53 cP. Hasil penelitian menunjukkan bahwa viskositas dinamik minyak pirolisis plastik PP dan LDPE mengalami penurunan seiring dengan peningkatan suhu dinding reaktor.

Pada proses destilasi bertingkat dengan variasi suhu dan tekanan mempengaruhi nilai densitas dan viskositas. Nilai densitas dan viskositas minyak juga mempengaruhi nilai kalor minyak. Dari hasil analisis menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai densitas dan viskositas minyak maka nilai kalor minyak semakin rendah, sebaliknya semakin rendah nilai densitas dan viskositas minyak maka nilai kalor minyak semakin tinggi. Densitas berkaitan dengan nilai kalor dan daya yang dihasilkan oleh pembakaran persatuan volume bahan bakar. Semakin besar nilai densitas menyatakan bahwa semakin banyak komponen yang terkandung di dalamnya (Shreve, 2005). Nilai kalor adalah jumlah dari panas yang dilepaskan selama proses pembakaran pada jumlah yang spesifik. Nilai kalor didefinisikan sebagai energi per satuan benda tersebut. Nilai kalor minyak diesel yang berkisar 43 MJ/Kg – 45 MJ/Kg (Oksi Sigit, 2008).

4.3.3 Perbandingan Hasil Analisis dengan baku mutu

Berdasarkan hasil pengujian, nilai kalor tertinggi untuk minyak sampah plastik jenis PET pada suhu 170°C dengan tekanan 100 mmHg sebesar 10674,005 kalori/gram atau 44,48 MJ/kg dan nilai kalor terendah untuk minyak sampah plastik jenis PET pada suhu 150°C dan tekanan 50 mmHg sebesar 10144,686 kalori/gram atau 42,26 MJ/Kg telah memenuhi standar nilai kalor bahan bakar

yang dipasarkan didalam negeri sebesar 41,87 MJ/Kg. Untuk nilai kalor tertinggi minyak sampah plastik jenis HDPE pada suhu 170°C dengan tekanan 100 mmHg sebesar 11059,428 kalori/gram atau 46,08 MJ/Kg, sedangkan nilai kalor terendah minyak sampah plastik jenis HDPE pada suhu 150°C dan tekanan 50 mmHg sebesar 10096,121 kalori/gram atau 42,06 MJ/Kg telah memenuhi standar nilai kalor bahan bakar yang dipasarkan didalam negeri dengan minimum sebesar 41,87 MJ/Kg

Berdasarkan hasil pengujian, nilai densitas tertinggi untuk minyak sampah plastik jenis PET pada suhu 150°C dan tekanan 50 mmHg sebesar 0,744 gram/ml dan nilai kalor terendah untuk minyak sampah plastik jenis PET pada suhu 170°C dengan tekanan 100 mmHg sebesar 0,719 gram/ml telah memenuhi standar nilai densitas bahan bakar yang dipasarkan didalam negeri dengan maksimum sebesar 991 Kg/m³. Untuk nilai densitas minyak sampah plastik jenis HDPE pada suhu 150°C dan tekanan 50 mmHg sebesar 0,752 gram/ml, sedangkan nilai densitas terendah minyak sampah plastik jenis HDPE pada suhu 170°C dengan tekanan 100 mmHg sebesar 0,719 gram/ml telah memenuhi standar nilai kalor bahan bakar yang dipasarkan didalam negeri maksimum sebesar 991 Kg/m³.

Berdasarkan hasil pengujian, nilai viskositas tertinggi untuk minyak sampah plastik jenis PET pada suhu 150°C dan tekanan 50 mmHg sebesar 39,62 cst belum memenuhi standar nilai densitas bahan bakar yang dipasarkan didalam negeri dengan maksimum sebesar 380 mm²/dt, sedangkan nilai viskositas terendah untuk minyak sampah plastik jenis PET pada suhu 170°C dengan tekanan 100 mmHg sebesar 38,72 cst telah memenuhi standar nilai densitas bahan bakar yang dipasarkan didalam negeri dengan maksimum sebesar 380 cst. Untuk nilai viskositas minyak sampah plastik jenis HDPE pada suhu 150°C dan tekanan 50 mmHg sebesar 40,01 cst, sedangkan nilai kalor terendah minyak sampah plastik jenis HDPE pada suhu 170°C dengan tekanan 100 mmHg sebesar 37,61 cst telah memenuhi standar nilai kalor bahan bakar yang dipasarkan didalam negeri maksimum sebesar 380 cst.

Demikian diketahui bahwa dari hasil analisis pengujian kadar kalor, densitas, dan viskositas minyak berbahan sampah plastik PET dan sampah HDPE memenuhi standar dan mutu (spesifikasi) bahan bakar minyak jenis minyak bakar yang dipasarkan di dalam negeri (Dept. ESDM RI, 2008).

Upaya recovery sampah khususnya sampah plastik PET dan HDPE dalam menjaga lingkungan dan mengelola limbah pada penelitian ini telah mampu dilakukan. Volume sampah plastik terbaik pada sampah plastik jenis PET dengan massa 600 gram menghasilkan minyak pirolisis sebesar 27 ml kemudian di destilasi bertingkat sebesar 15 ml. Sedangkan uji densitas, nilai kalor dan viskositas terbaik pada sampah plastik jenis HDPE dengan massa 600 gram menghasilkan minyak pirolisis sebesar 38 ml kemudian di destilasi bertingkat sehingga didapatkan volume minyak sebesar 11 ml. Dapat dikatakan bahwa pengolahan sampah plastik menjadi bahan bakar minyak alternatif dengan destilasi bertingkat sangatlah efektif untuk mengatasi masalah sampah.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Proses destilasi dapat digunakan untuk memurnikan minyak hasil pirolisis, sehingga bisa dikembangkan menjadi bahan bakar alternatif. Berdasarkan hasil penelitian dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Volume minyak terbaik yaitu sampah plastik jenis PET sebesar 15 ml pada suhu 170°C tekanan 100 mmHg dan volume terendah sebesar 12,5 mL pada suhu 150°C tekanan 50 mmHg.
2. Hasil pengujian terbaik minyak sampah plastik jenis HDPE menunjukkan nilai kalor sebesar 11059,428 kalori/gram atau 46,08 MJ/Kg, densitas sebesar 0,719 gram/ml dan viskositas sebesar 37,61 cst telah memenuhi standar dan mutu (spesifikasi) bahan bakar minyak jenis minyak bakar yang dipasarkan di dalam negeri (Dept. ESDM RI, 2008).

5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian ini, adapun saran yang diberikan kepada peneliti selanjutnya sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai variasi suhu dan waktu dalam proses destilasi bertingkat.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui karakteristik minyak selain densitas, viskositas dan nilai kalor.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengembangan alat destilasi bertingkat khusus untuk minyak hasil pirolisis.

Chromatogram Plot 1 - 8/20/2015 1:49 PM

File: c:\varian\msd\data\training 070710\051213\072.sms

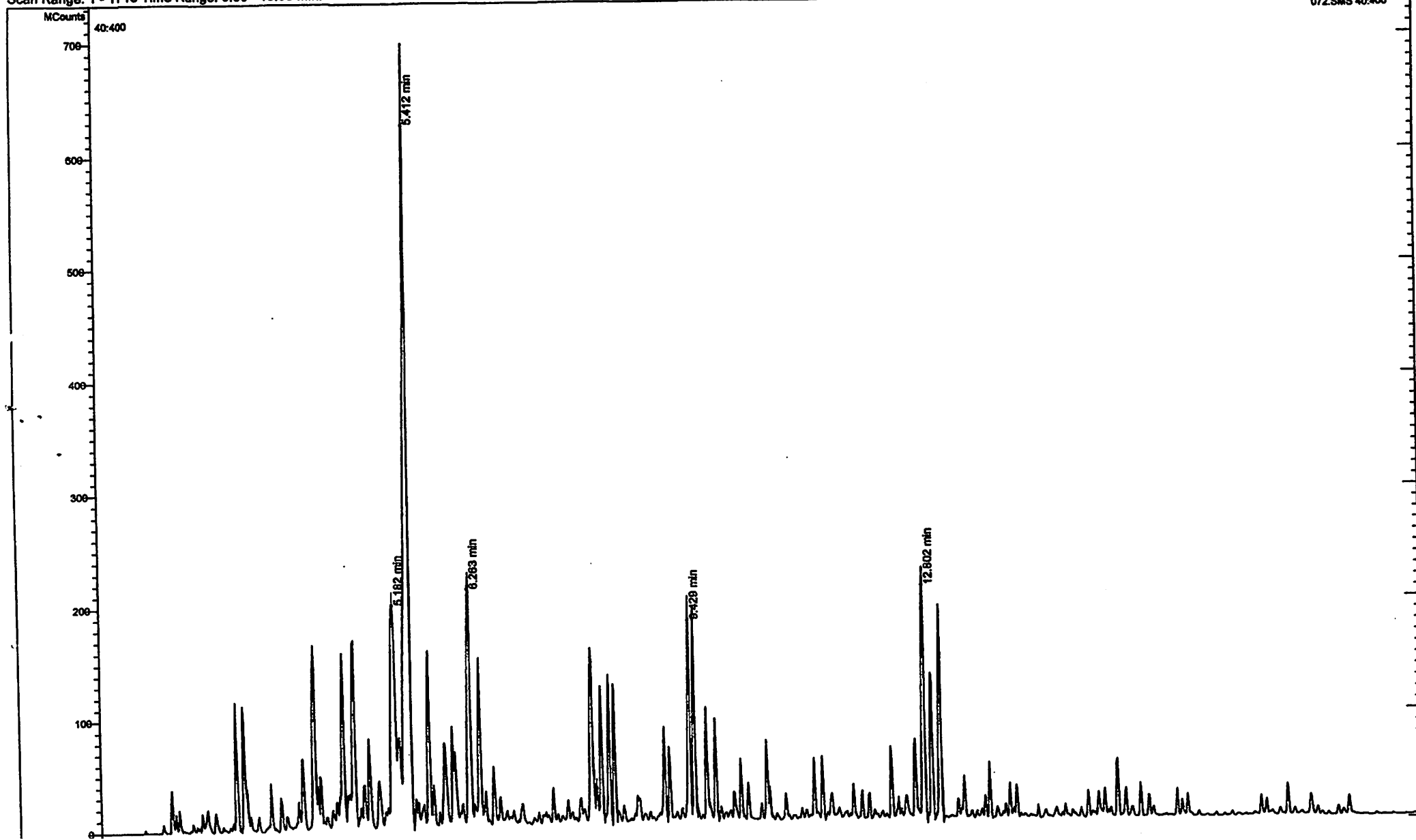
Sample: HDPE 160°

Operator: mei

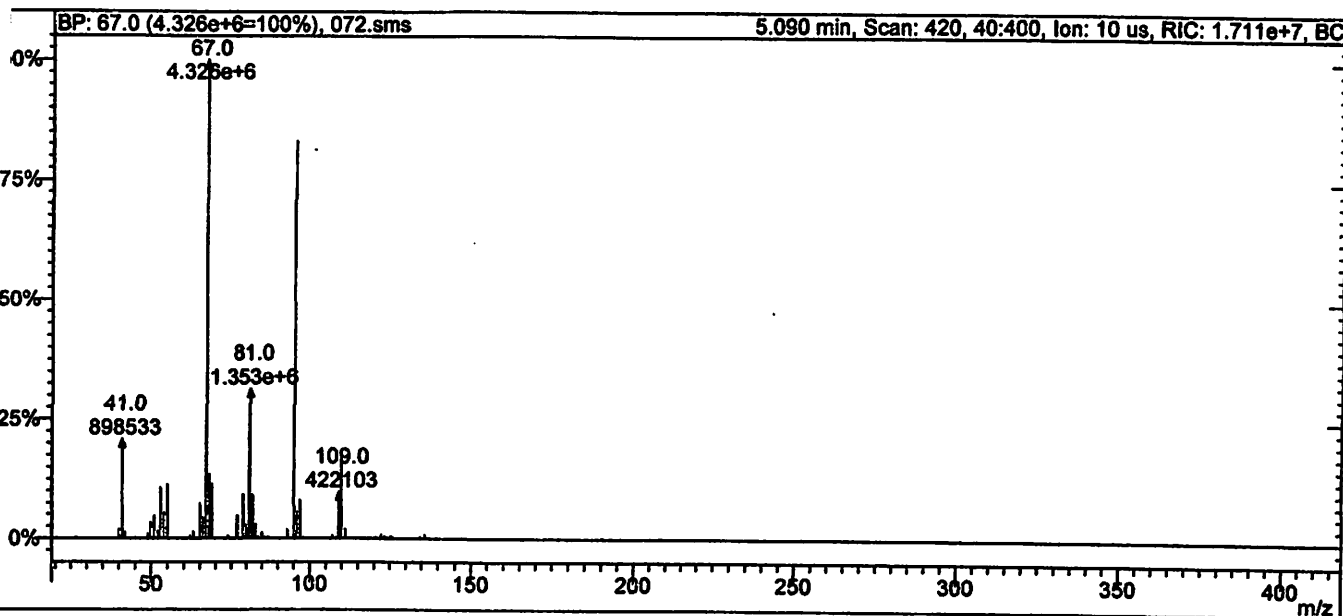
Date: 8/18/2015 11:08 AM

Scan Range: 1 - 1713 Time Range: 0.00 - 19.98 min.

072.SMS 40:400



can 420 from c:\varianws\data\training 070710\051213\072.sms



spectrum from c:\varianws\data\training 070710\051213\072.sms

Scan No: 420, Time: 5.090 minutes

No averaging. Background corrected.

Comment: 5.090 min. Scan: 420 40:400 Ion: 10 us RIC: 1.983e+7

Pair Count: 64 MW: 0 Formula: None

AS No: None Acquired Range: 39.5 - 400.5 m/z

MDT: Centroid, Time: 0.00 - 20.00

Seg 1, FIL/MUL DELAY , Time: 0.00- 1.00, Filament Off

Chan 1, 40-650 m/z

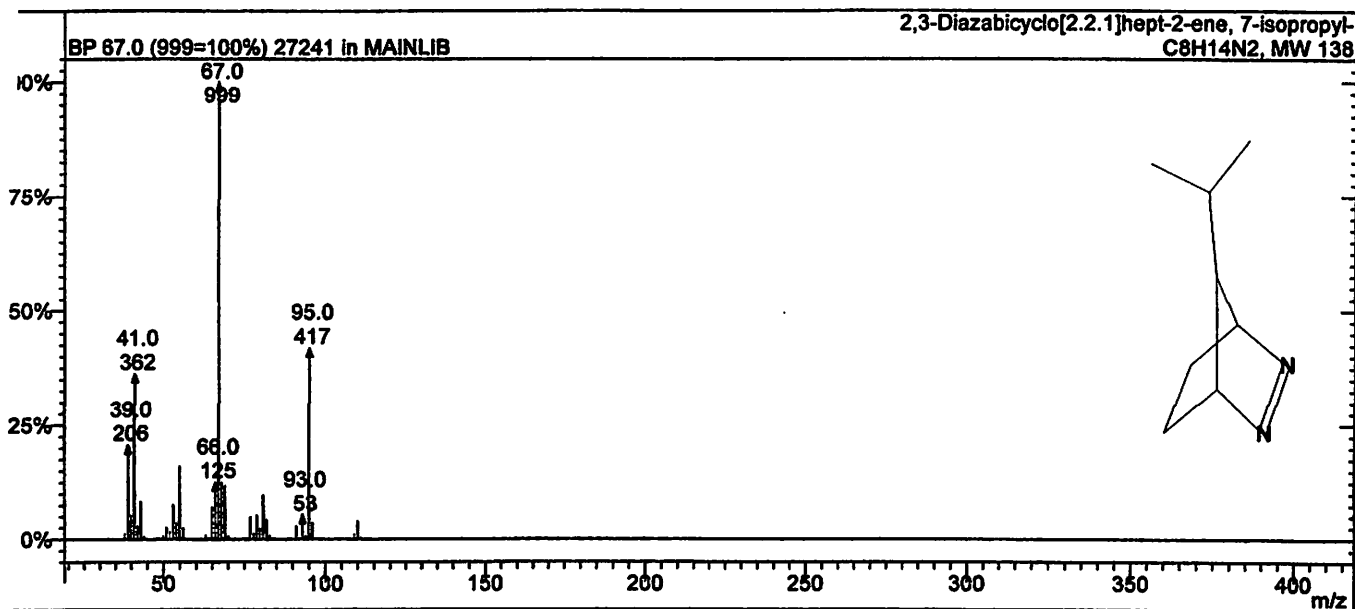
Seg 2, Analysis , Time: 1.00-20.00, EI-Auto-Full

Chan 1, 40-400 m/z

Product Mass Range: 39.5 - 400.5 m/z

Ion	Int	Norm	Ion	Int	Norm	Ion	Int	Norm
40.0	81789	19	78.9	397974	92	108.2	14018	3
41.0	898533	208	80.0	119643	28	109.0	422103	97
41.9	54579	13	81.0	1.353e+6	313	109.8	764639	177
45.1	7511	2	82.0	393877	91	111.0	84362	19
49.0	39380	9	82.9	124225	29	111.9	3515	1
49.9	144086	33	83.8	15294	4	115.0	3273	1
51.0	201301	46	85.0	45808	11	119.8	2870	1
52.1	65219	15	85.8	7046	2	120.5	11317	3
52.9	457068	106	87.0	7425	2	121.1	1857	0
54.0	231844	54	89.1	703	0	122.2	30016	7
55.0	489975	113	91.0	4011	1	123.3	18937	4
62.0	22838	5	92.1	3235	1	124.0	11431	3
63.0	58853	14	93.0	75145	17	125.3	18571	4
65.0	315499	73	95.0	3.588e+6	829	125.9	12055	3
66.0	185783	43	96.0	234643	54	134.6	16601	4
67.0	4.326e+6	999	96.9	348345	80	136.0	30715	7
68.0	581600	134	98.0	8182	2	163.1	1194	0
68.8	493984	114	99.5	1122	0	190.4	6071	1
72.9	2848	1	103.7	1214	0	216.3	1092	0
74.0	21466	5	106.2	104	0	286.1	3286	1
77.0	201676	47	107.0	26872	6	381.9	3286	1
78.1	7569	2						

entry 27241 from MAINLIB NIST Library



Spectrum 27241 from MAINLIB Library

Name: 2,3-Diazabicyclo[2.2.1]hept-2-ene, 7-isopropyl-

Pair Count: 40 MW: 138 Formula: C₈H₁₄N₂

CAS No: None Acquired Range: 37.0 - 111.0 m/z

NIST No: 142835

Contributor: G. Lange, Inst. Org. Chem., Univ. Wurzburg, Wurzburg, German

Synonyms: None

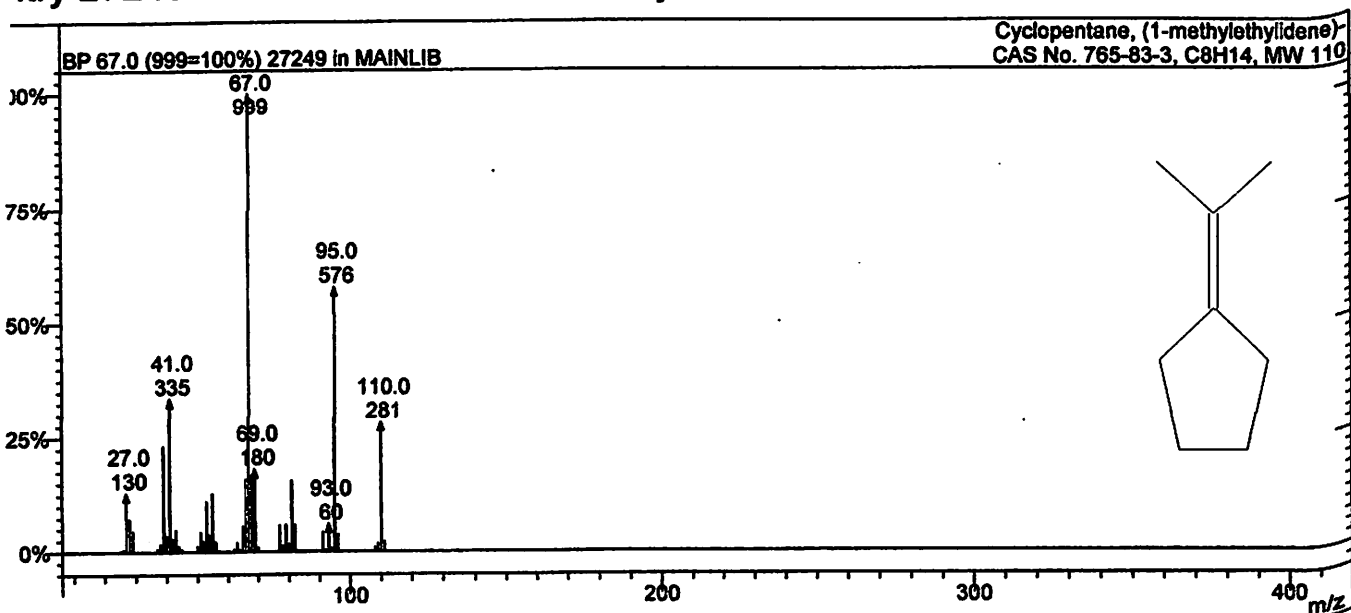
Other Databases: None

Replicates: None

Ion	Int	Norm	Ion	Int	Norm
38.0	11	11	68.0	124	124
39.0	206	206	69.0	117	117
40.0	51	51	70.0	6	6
41.0	362	362	77.0	48	48
42.0	29	29	78.0	12	12
43.0	83	83	79.0	51	51
44.0	5	5	80.0	23	23
50.0	6	6	81.0	96	96
51.0	25	25	82.0	42	42
52.0	16	16	83.0	7	7
53.0	76	76	91.0	28	28
54.0	35	35	92.0	2	2
55.0	159	159	93.0	53	53
56.0	24	24	94.0	7	7
63.0	8	8	95.0	417	417
64.0	2	2	96.0	35	35
65.0	70	70	109.0	10	10
66.0	125	125	110.0	39	39
67.0	999	999	111.0	3	3



entry 27249 from MAINLIB NIST Library



spectrum 27249 from MAINLIB Library

name: Cyclopentane, (1-methylethylidene)-

air Count: 50 MW: 110 Formula: C₈H₁₄

AS No: 765-83-3 Acquired Range: 25.0 - 111.0 m/z

IST No: 61656

Contributor: D.HENNEBERG, MAX-PLANCK INSTITUTE, MULHEIM, WEST GERMANY

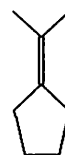
Synonyms: 1

(1-Methylethylidene)cyclopentane #

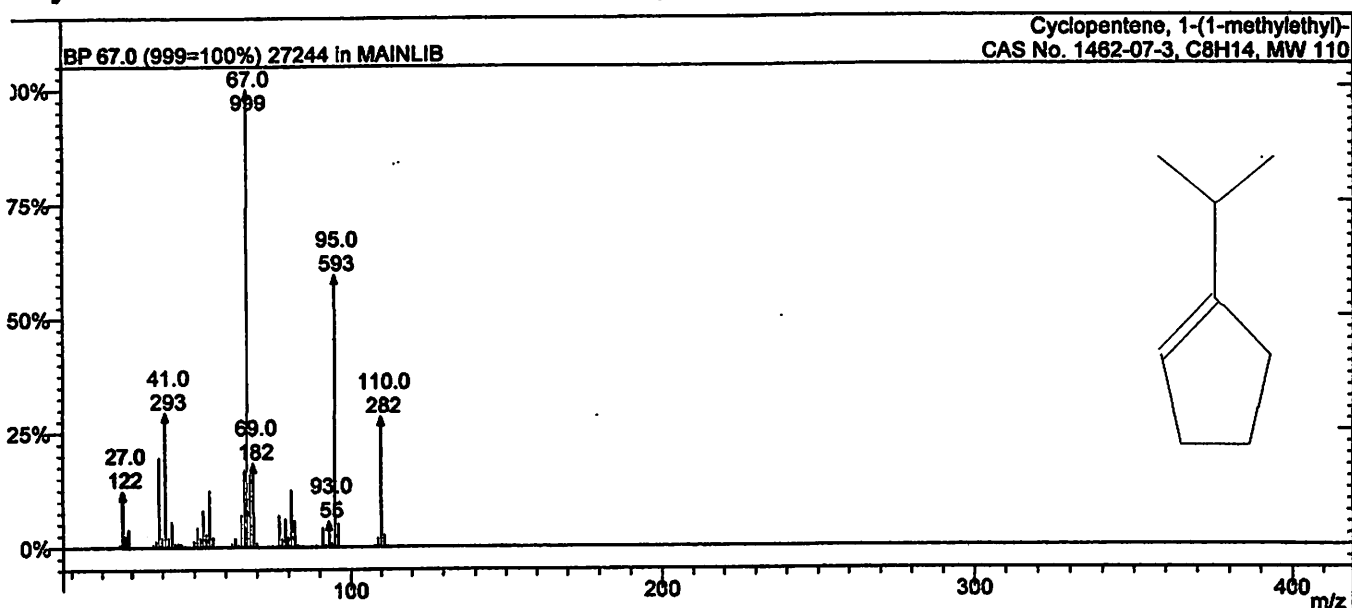
Other Databases: None

Duplicates: None

Ion	Int	Norm	Ion	Int	Norm
25.0	1	1	65.0	56	56
26.0	6	6	66.0	159	159
27.0	130	130	67.0	999	999
28.0	72	72	68.0	169	169
29.0	45	45	69.0	180	180
37.0	7	7	70.0	9	9
38.0	17	17	77.0	57	57
39.0	231	231	78.0	14	14
40.0	35	35	79.0	58	58
41.0	335	335	80.0	17	17
42.0	29	29	81.0	155	155
43.0	47	47	82.0	58	58
44.0	12	12	83.0	3	3
45.0	5	5	89.0	2	2
50.0	13	13	91.0	42	42
51.0	43	43	92.0	4	4
52.0	24	24	93.0	60	60
53.0	110	110	94.0	7	7
54.0	38	38	95.0	576	576
55.0	128	128	96.0	37	37
56.0	21	21	107.0	2	2
57.0	2	2	108.0	9	9
62.0	5	5	109.0	18	18
63.0	20	20	110.0	281	281
64.0	5	5	111.0	22	22



try 27244 from MAINLIB NIST Library



spectrum 27244 from MAINLIB Library

ame: Cyclopentene, 1-(1-methylethyl)-

air Count: 52 MW: 110 Formula: C₈H₁₄

AS No: 1462-07-3 Acquired Range: 26.0 - 111.0 m/z

IST No: 61655

ontributor: D.HENNEBERG, MAX-PLANCK INSTITUTE, MULHEIM, WEST GERMANY

ynonyms: 2

1-Isopropylcyclopentene

1-Isopropyl-1-cyclopentene #

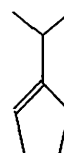
ther Databases: IR

eplicates: 2

7272 in REPLIB

7273 in REPLIB

Ion	Int	Norm	Ion	Int	Norm
26.0	5	5	65.0	69	69
27.0	122	122	66.0	168	168
28.0	24	24	67.0	999	999
29.0	37	37	68.0	159	159
37.0	5	5	69.0	182	182
38.0	12	12	70.0	8	8
39.0	195	195	75.0	2	2
40.0	20	20	76.0	1	1
41.0	293	293	77.0	67	67
42.0	20	20	78.0	17	17
43.0	54	54	79.0	59	59
44.0	8	8	80.0	21	21
45.0	8	8	81.0	124	124
46.0	6	6	82.0	56	56
47.0	1	1	83.0	4	4
50.0	13	13	89.0	3	3
51.0	42	42	91.0	41	41
52.0	19	19	92.0	5	5
53.0	80	80	93.0	55	55
54.0	28	28	94.0	8	8
55.0	123	123	95.0	593	593
56.0	20	20	96.0	49	49
61.0	2	2	108.0	2	2
62.0	7	7	109.0	18	18
63.0	18	18	110.0	282	282
64.0	4	4	111.0	25	25



Chromatogram Plot 1 - 8/20/2015 2:40 PM

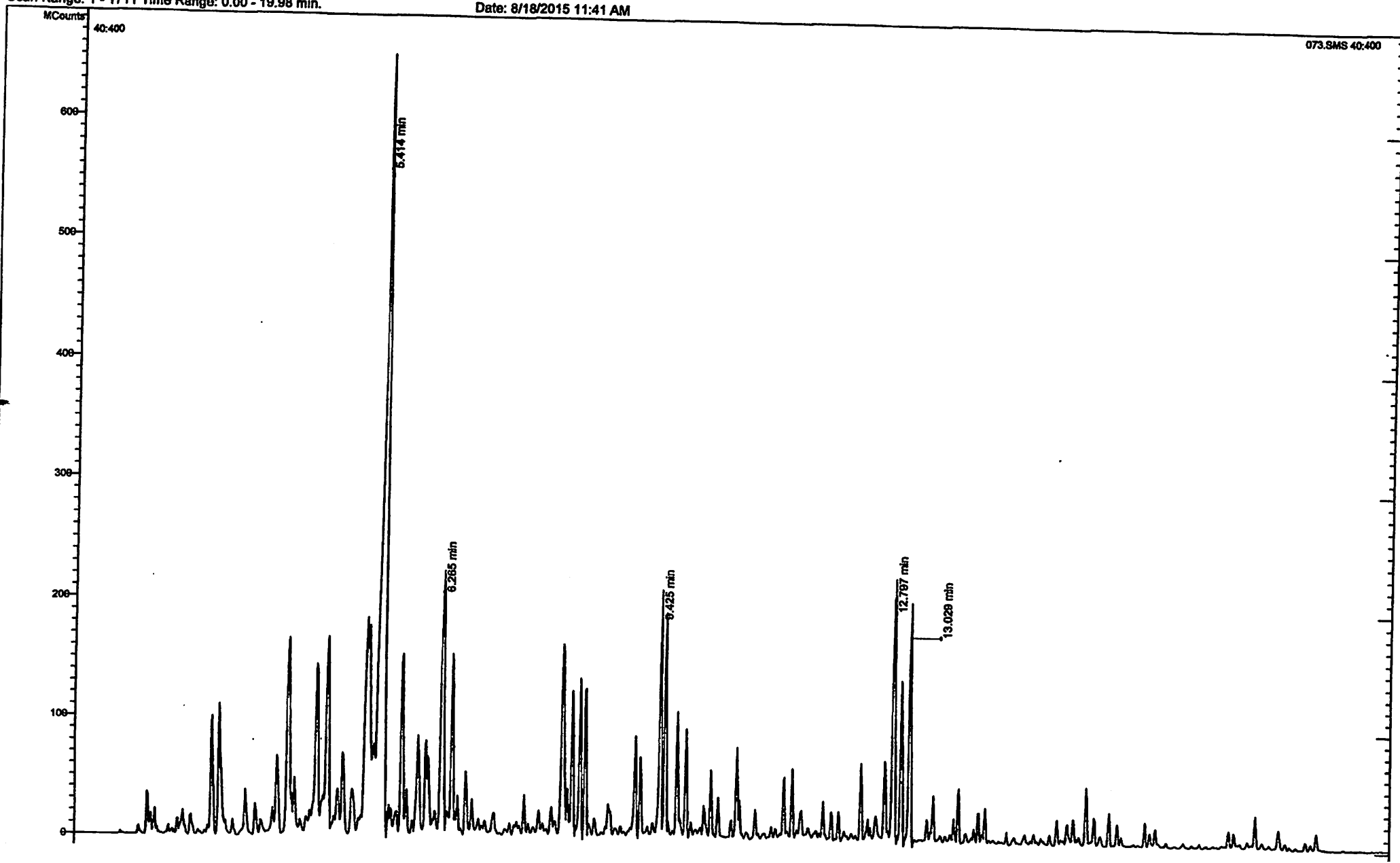
File: c:\varian\ms\data\training 070710\051213\073.sms

Sample: HOPE 170°

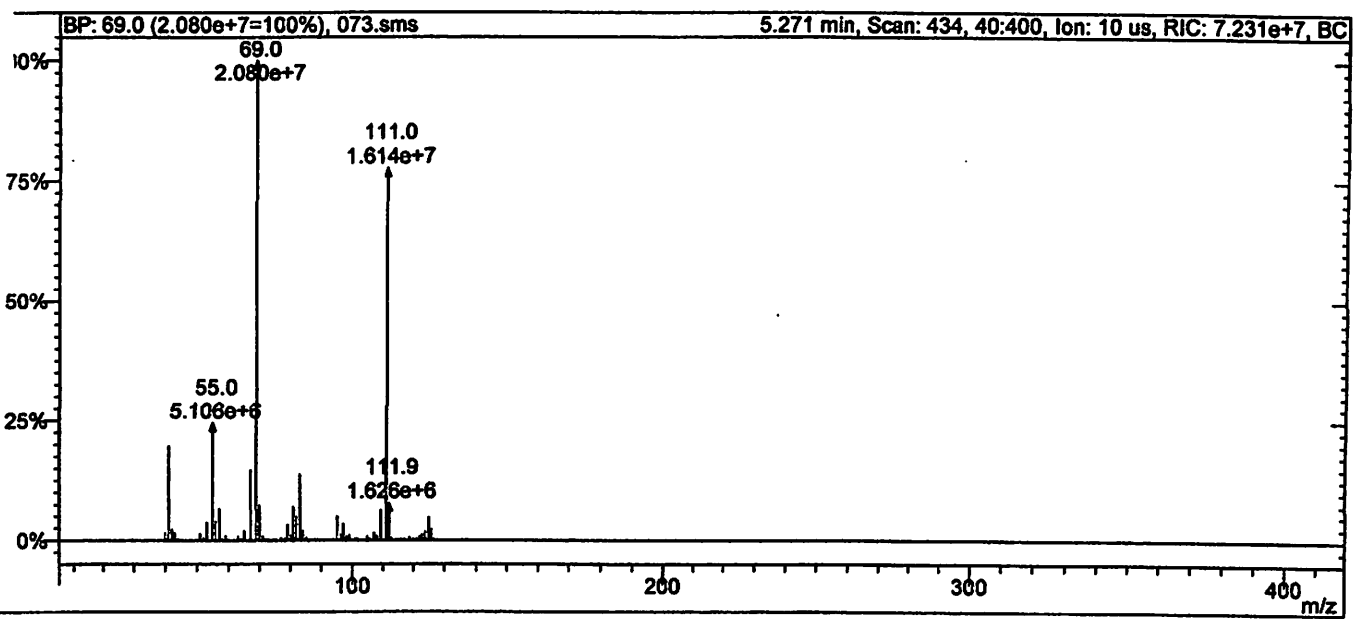
Scan Range: 1 - 1711 Time Range: 0.00 - 19.98 min.

Operator: mei

Date: 8/18/2015 11:41 AM



can 434 from c:\varianws\data\training 070710\051213\073.sms



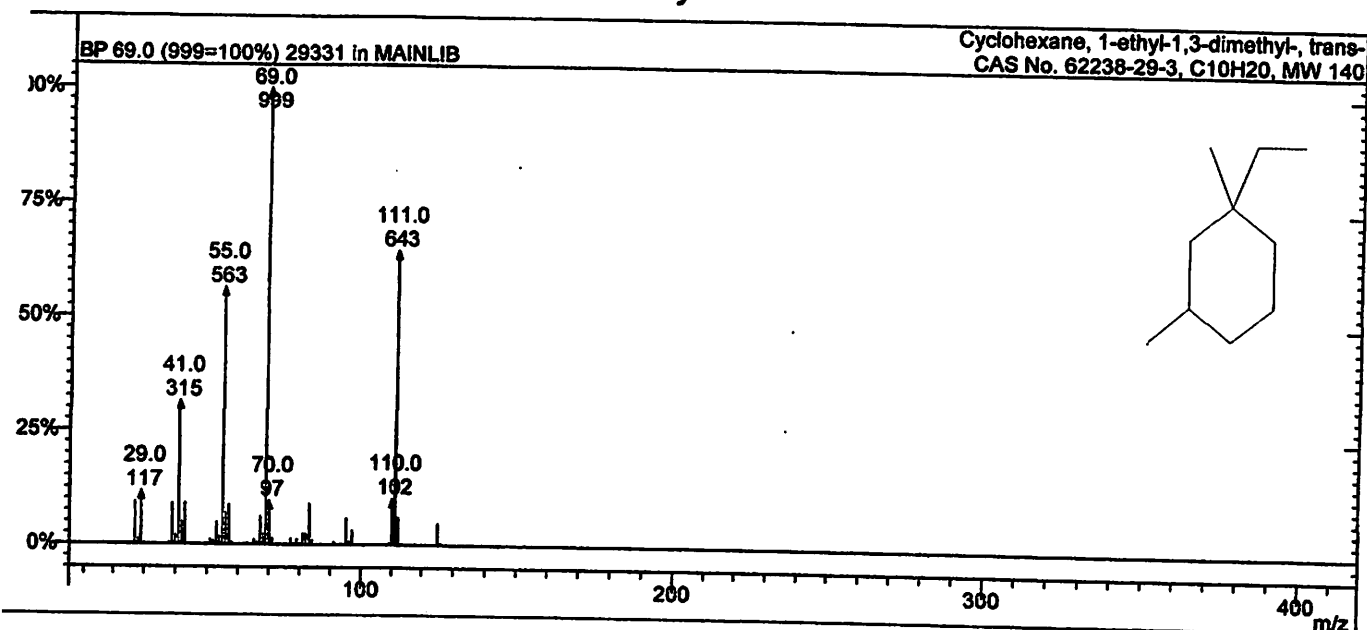
Spectrum from c:\varianws\data\training 070710\051213\073.sms
 Scan No: 434, Time: 5.271 minutes
 No averaging. Background corrected.
 Comment: 5.271 min. Scan: 434 40:400 Ion: 10 us RIC: 7.555e+7
 Pair Count: 112 MW: 0 Formula: None
 CAS No: None Acquired Range: 39.5 - 400.5 m/z

MDT: Centroid, Time: 0.00 - 20.00
 Seg 1, FIL/MUL DELAY , Time: 0.00- 1.00, Filament Off
 Chan 1, 40-650 m/z
 Seg 2, Analysis , Time: 1.00-20.00, EI-Auto-Full
 Chan 1, 40-400 m/z
 Product Mass Range: 39.5 - 400.5 m/z

Ion	Int	Norm	Ion	Int	Norm	Ion	Int	Norm
40.0	313110	15	88.0	36143	2	125.0	964290	46
41.1	4.090e+6	196	88.8	33871	2	125.8	462236	22
42.1	462324	22	90.1	22143	1	126.7	41942	2
43.0	312189	15	91.1	23062	1	127.6	8220	0
44.1	40803	2	91.9	27458	1	130.9	9000	0
45.1	13670	1	93.8	38984	2	149.1	1214	0
50.1	26517	1	95.0	1.024e+6	49	157.3	4214	0
51.0	260728	13	96.2	249852	12	169.4	8864	0
52.1	99930	5	97.0	700696	34	171.3	1173	0
53.1	765279	37	98.0	157950	8	174.4	3104	0
55.0	5.106e+6	245	99.0	207585	10	186.8	1286	0
56.0	800551	38	100.0	31509	2	191.2	9786	0
57.1	1.360e+6	65	100.8	57247	3	197.7	1214	0
58.0	56717	3	101.4	75500	4	198.7	5214	0
59.1	181930	9	102.0	28170	1	199.8	350	0
60.4	4831	0	103.0	30605	1	222.4	10392	0
63.0	156380	8	103.7	13499	1	223.7	4214	0
63.9	18997	1	104.8	140306	7	238.9	1124	0
65.0	395758	19	105.7	53567	3	250.4	12714	1
67.1	3.049e+6	146	107.0	301877	14	252.2	1286	0
69.0	2.080e+7	999	107.9	174815	8	255.3	4010	0
70.0	1.525e+6	73	109.2	1.282e+6	62	258.5	17786	1
71.1	156017	7	111.0	1.614e+7	775	265.1	9357	0
71.9	36870	2	111.9	1.626e+6	78	267.6	1214	0
73.1	1067	0	112.8	83494	4	270.6	1214	0
74.3	17857	1	114.0	30214	1	300.8	6071	0
75.0	27316	1	114.6	31088	1	312.0	3851	0
75.9	3670	0	115.2	31214	1	314.0	3286	0
77.0	101921	5	116.0	34993	2	316.4	3286	0
78.2	67663	3	116.7	30286	1	334.5	6071	0
79.1	658081	32	117.3	37554	2	336.5	1286	0

Ion	Int	Norm	Ion	Int	Norm	Ion	Int	Norm
80.2	198118	10	118.8	119605	6	337.6	3286	0
81.0	1.443e+6	69	120.0	49435	2	351.3	9786	0
82.0	996418	48	121.1	70286	3	360.0	4214	0
83.1	2.846e+6	137	122.0	163520	8	367.1	1214	0
84.0	399714	19	122.9	242633	12	388.8	7786	0
85.1	98489	5	123.8	352020	17	397.0	6071	0
86.7	30071	1						

Entry 29331 from MAINLIB NIST Library



Spectrum 29331 from MAINLIB Library

Name: Cyclohexane, 1-ethyl-1,3-dimethyl-, trans-

Charge Count: 66 MW: 140 Formula: C₁₀H₂₀

AS No: 62238-29-3 Acquired Range: 24.0 - 126.0 m/z

IST No: 61402

Contributor: D.HENNEBERG, MAX-PLANCK INSTITUTE, MULHEIM, WEST GERMANY

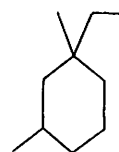
Synonyms: 1

1-Ethyl-1,3-dimethylcyclohexane #

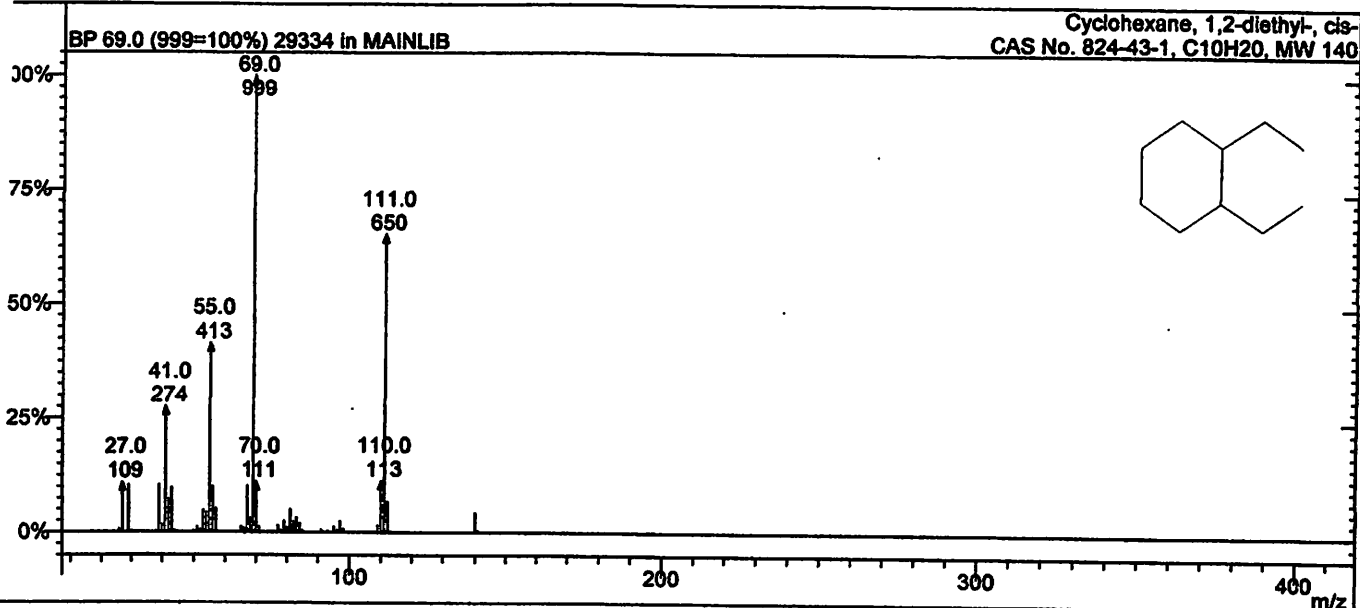
Other Databases: None

Duplicates: None

Ion	Int	Norm	Ion	Int	Norm
24.0	3	3	67.0	60	60
25.0	2	2	68.0	23	23
26.0	3	3	69.0	999	999
27.0	94	94	70.0	97	97
28.0	11	11	71.0	13	13
29.0	117	117	75.0	1	1
30.0	2	2	77.0	13	13
33.0	1	1	78.0	3	3
35.0	1	1	79.0	11	11
38.0	4	4	80.0	2	2
39.0	90	90	81.0	24	24
40.0	19	19	82.0	22	22
41.0	315	315	83.0	90	90
42.0	48	48	84.0	9	9
43.0	91	91	85.0	1	1
45.0	1	1	91.0	5	5
47.0	1	1	93.0	1	1
50.0	2	2	94.0	1	1
51.0	10	10	95.0	57	57
52.0	8	8	96.0	7	7
53.0	47	47	97.0	30	30
54.0	17	17	98.0	1	1
55.0	563	563	109.0	4	4
56.0	69	69	110.0	102	102
57.0	87	87	111.0	643	643
58.0	4	4	112.0	59	59
63.0	3	3	113.0	3	3
64.0	1	1	125.0	47	47
65.0	10	10	126.0	4	4
66.0	5	5			



ntry 29334 from MAINLIB NIST Library



Spectrum 29334 from MAINLIB Library

Name: Cyclohexane, 1,2-diethyl-, cis-

Pair Count: 79 MW: 140 Formula: C₁₀H₂₀

CAS No: 824-43-1 Acquired Range: 26.0 - 142.0 m/z

NIST No: 155919

Contributor:

Chemical Concepts

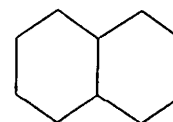
Synonyms: 1

1,2-Diethylcyclohexane #

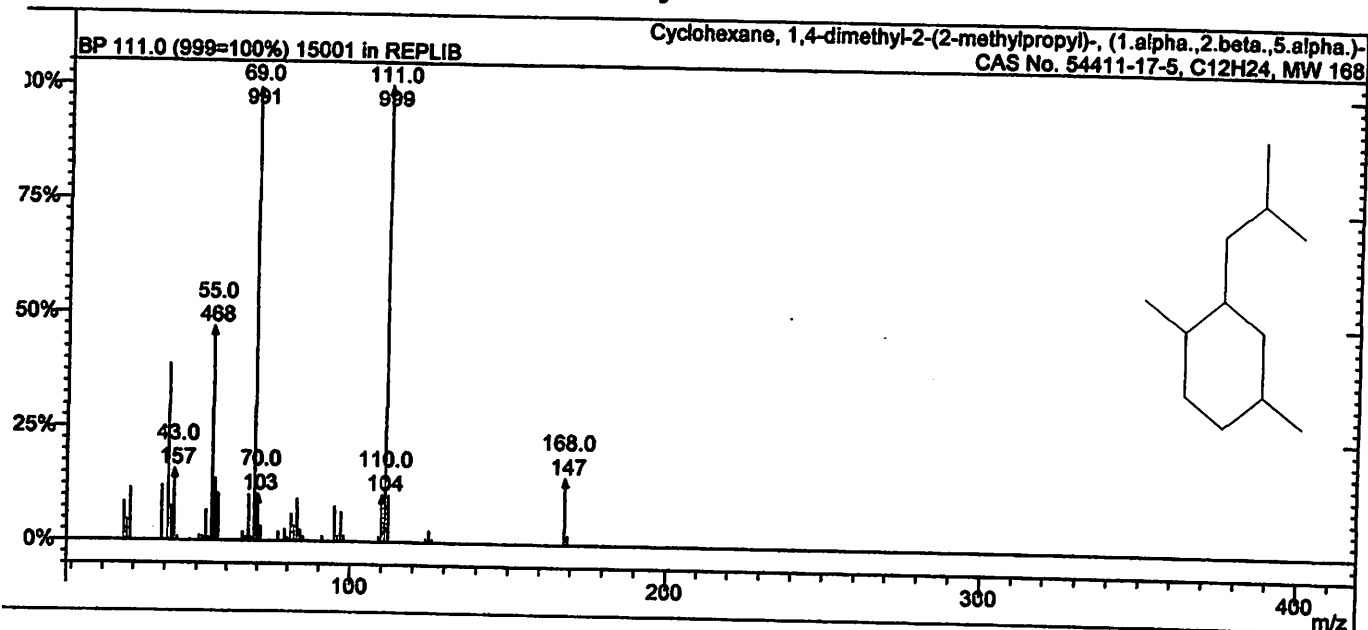
Other Databases: None

Replicates: None

Ion	Int	Norm	Ion	Int	Norm
26.0	7	7	71.0	12	12
27.0	109	109	72.0	1	1
29.0	103	103	77.0	15	15
30.0	2	2	78.0	5	5
38.0	2	2	79.0	24	24
39.0	104	104	80.0	11	11
40.0	16	16	81.0	49	49
41.0	274	274	82.0	23	23
42.0	72	72	83.0	31	31
43.0	98	98	84.0	19	19
44.0	3	3	85.0	4	4
50.0	2	2	91.0	6	6
51.0	11	11	92.0	1	1
52.0	6	6	93.0	3	3
53.0	47	47	95.0	12	12
54.0	43	43	96.0	5	5
55.0	413	413	97.0	24	24
56.0	100	100	98.0	7	7
57.0	51	51	105.0	1	1
58.0	2	2	106.0	1	1
63.0	1	1	109.0	16	16
65.0	12	12	110.0	113	113
66.0	9	9	111.0	650	650
67.0	102	102	112.0	66	66
68.0	30	30	113.0	2	2
69.0	999	999	140.0	43	43
70.0	111	111	141.0	4	4



entry 15001 from REPLIB NIST Library



spectrum 15001 from REPLIB Library
 Name: Cyclohexane, 1,4-dimethyl-2-(2-methylpropyl)-, (1.alpha.,2,
 5.alpha.)-
 Air Count: 44 MW: 168 Formula: C₁₂H₂₄
 AS No: 54411-17-5 Acquired Range: 27.0 - 169.0 m/z
 IST No: 113596

Contributor: NIST Mass Spectrometry Data Center, 1990.

Monomers: 3

is,cis,trans-1-Isobutyl-2,5-dimethylcyclohexane

is,trans,cis-1-Isobutyl-2,5-dimethylcyclohexane

1-Isobutyl-1,4-dimethylcyclohexane #

Other Databases: None

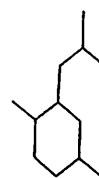
Duplicates: 3

769 in REPLIB

5000 in REPLIB

5001 in REPLIB

Ion	Int	Norm	Ion	Int	Norm
27.0	85	85	77.0	19	19
28.0	46	46	79.0	25	25
29.0	115	115	80.0	7	7
39.0	121	121	81.0	58	58
41.0	386	386	82.0	34	34
42.0	76	76	83.0	93	93
43.0	157	157	84.0	24	24
44.0	8	8	85.0	10	10
51.0	11	11	91.0	10	10
52.0	9	9	95.0	77	77
53.0	66	66	96.0	12	12
54.0	8	8	97.0	63	63
55.0	468	468	98.0	12	12
56.0	137	137	109.0	11	11
57.0	105	105	110.0	104	104
65.0	19	19	111.0	999	999
66.0	9	9	112.0	102	102
67.0	101	101	124.0	8	8
68.0	9	9	125.0	25	25
69.0	991	991	126.0	7	7
70.0	103	103	168.0	147	147
71.0	31	31	169.0	19	19





**DEPARTEMEN ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL REPUBLIK INDONESIA
DIREKTORAT JENDERAL MINYAK DAN GAS BUMI**

**KEPUTUSAN DIREKTUR JENDERAL MINYAK DAN GAS BUMI
Nomor 14496 K/14/DJM/2008**

TENTANG

**STANDAR DAN MUTU (SPESIFIKASI) BAHAN BAKAR MINYAK JENIS
MINYAK BAKAR YANG DIPASARKAN DI DALAM NEGERI**

Menimbang : bahwa dalam rangka melaksanakan ketentuan Pasal 3 ayat (1) Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 0048 Tahun 2005 tentang Standar dan Mutu (Spesifikasi) serta Pengawasan Bahan Bakar Minyak, Bahan Bakar Gas, Bahan Bakar Lain, LPG, LNG dan Hasil Olahan Yang Dipasarkan Di Dalam Negeri, perlu mengatur dan menetapkan standar dan mutu (spesifikasi) Bahan Bakar Minyak jenis Minyak Diesel yang Dipasarkan di Dalam Negeri dalam suatu Keputusan Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi.

Mengingat :

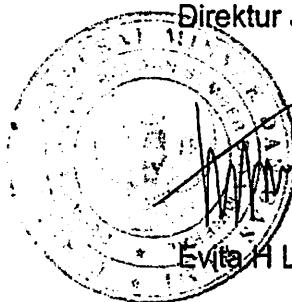
1. Undang-undang Nomor 22 Tahun 2001 Tentang Minyak dan Gas Bumi (Lembaran Negara Tahun 2001 Nomor 136, Tambahan Lembaran Negara Nomor 4152);
2. Peraturan Pemerintah Nomor 36 Tahun 2004 tentang Kegiatan Usaha Hilir Minyak dan Gas Bumi (Lembaran Negara Tahun 2004 Nomor 124, Tambahan Lembaran Negara Nomor 4436);
3. Keputusan Presiden Nomor 69/M Tahun 2008 tanggal 24 Juni 2008;
4. Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 0007 Tahun 2005 tentang Persyaratan dan Pedoman Pelaksanaan Izin Usaha Dalam Kegiatan Usaha Hilir Minyak dan Gas Bumi.
5. Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 0030 Tahun 2005 tanggal 20 Juli 2005 tentang Organisasi dan Tata Kerja Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral;
6. Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor : 0048 Tahun 2005 tentang Standar dan Mutu (Spesifikasi) serta Pengawasan Bahan Bakar Minyak, Bahan Bakar Gas, Bahan Bakar Lain, LPG, LNG dan Hasil Olahan Yang Dipasarkan Di Dalam Negeri;

MEMUTUSKAN:

- Menetapkan :
PERTAMA : Menetapkan standar dan mutu (spesifikasi) Bahan Bakar Minyak (BBM) jenis Minyak Bakar yang terdiri dari:
a. standar dan mutu (spesifikasi) Bahan Bakar Minyak (BBM) jenis Minyak Bakar spesifikasi I; dan
b. standar dan mutu (spesifikasi) Bahan Bakar Minyak (BBM) jenis Minyak Bakar spesifikasi II
sebagaimana tercantum dalam Lampiran Keputusan ini.
- KEDUA : Dengan berlakunya Keputusan ini, maka Peraturan Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi Nomor 03/P/DM./MIGAS/1986 tanggal 14 April 1986 tentang Perubahan Lampiran ad I Peraturan Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi Nomor 002/P/D.M./Migas/1979 tanggal 25 Mei 1979 tentang Spesifikasi Bahan Bakar Minyak dinyatakan tidak berlaku lagi.
- KETIGA : Keputusan ini mulai berlaku pada tanggal ditetapkan

Ditetapkan di Jakarta
Pada tanggal : 21 Agustus 2008

Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi



Evita H Legowo

- Penyembutan :
- . Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral
 - . Menteri Perhubungan
 - . Menteri Perdagangan
 - . Menteri Negara Lingkungan Hidup
 - . Sekretaris Jenderal Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral
 - . Inspektur Jenderal Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral
 - . Kepala Badan Penelitian dan Pengembangan ESDM
 - . Kepala BPH Migas

EMPIRAN : Keputusan Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi
 Nomor : 14496K/14/DJM/2008
 Tanggal : 21 Agustus 2008

STANDAR DAN MUTU (SPESIFIKASI) BAHAN BAKAR MINYAK JENIS MINYAK BAKAR YANG DIPASARKAN DI DALAM NEGERI

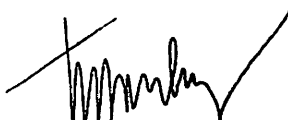
A. SPESIFIKASI I

No.	Karakteristik	Satuan	Batasan				Metode Uji
			IFO-1		IFO-2		
			Min.	Maks.	Min.	Maks.	ASTM
1	Nilai Kalori	MJ/kg	41.87		41.87		D 240
2	Densitas pada 15 °C	kg/m ³	-	991	-	991	D 1298
3	Viskositas kinematik pada 50 °C	mm ² /dt	-	180	-	380	D 445
4	Kandungan sulfur	% m/m	-	3.5	-	4.0	D 1552 / 2622
5	Titik tuang	°C	-	30	-	40	D 97
6	Titik nyala	°C	60	-	60	-	D 93
7	Residu karbon	% m/m	-	16		20	D 189
8	Kandungan abu	% m/m	-	0.10	-	0.15	D 482
9	Sedimen total	% m/m	-	0.10	-	0.10	D 473
10	Kandungan air	% v/v	-	0.75	-	1.0	D 95
11	Vanadium	mg/kg	-	200	-	-	AAS
12	Aluminium + silikon	mg/kg	-	80	-	-	D 5184/AAS

B. SPESIFIKASI II

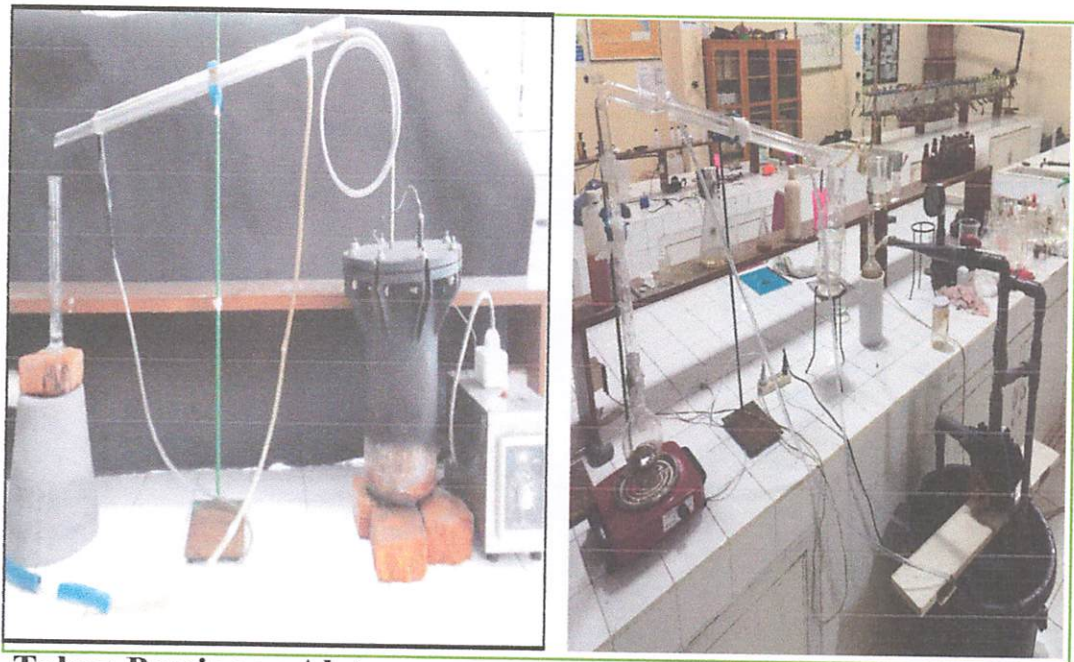
No.	Karakteristik	Satuan	Batasan				Metode Uji
			MFO-1		MFO-2		
			Min.	Maks.	Min.	Maks.	ASTM
1	Densitas pada 15 °C	kg/m ³	-	991	-	991	D 1298
2	Viskositas kinematik pada 50 °C	mm ² /dt	-	180	-	380	D 445
3	Kandungan sulfur	% m/m	-	4.5	-	5.0	D 1552 / 2622
4	Titik tuang	°C	-	30	-	40	D 97
5	Titik nyala	°C	60	-	60	-	D 93
6	Residu karbon	% m/m	-	16	-	20	D 189
7	Kandungan abu	% m/m	-	0.10	-	0.15	D 482
8	Sedimen total	% m/m	-	0.10	-	0.10	D 473
9	Kandungan air	% v/v	-	1.0	-	1.0	D 95
10	Vanadium	mg/kg	-	200	-	300	AAS
11	Aluminium + silikon	mg/kg	-	80	-	80	D 5184/AAS

Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi

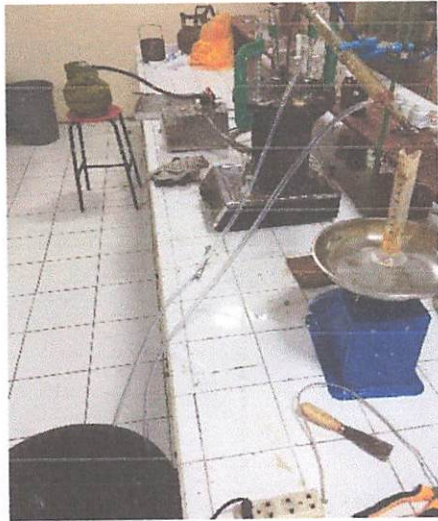




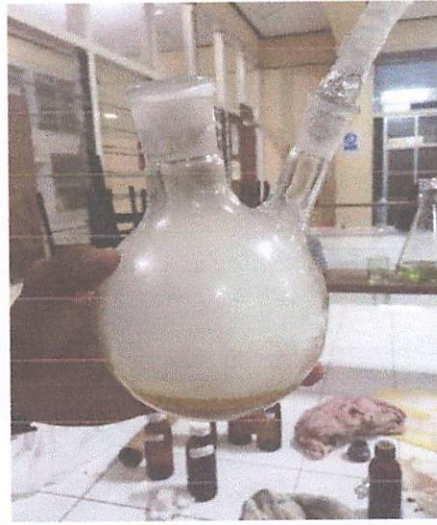
Tahap Persiapan Bahan



Tahap Persiapan Alat



Minyak Hasil Pirolisis dan Hasil Destilasi Bertingkat Sampah Plastik Jenis PET



Minyak Hasil Pirolisis dan Hasil Destilasi Bertingkat Sampah Plastik Jenis PET



Minyak Hasil Destilasi Bertingkat diuji dengan cara dibakar