



LAPORAN SKRIPSI – TK091581

**PENGOLAHAN LIMBAH KEMASAN PLASTIK  
MULTILAYER LDPE (*LOW DENSITY POLYETHYLENE*)  
DENGAN MENGGUNAKAN METODE PIROLISIS  
KONVENSIONAL DAN PIROLISIS MICROWAVE**

Oleh :

Arief Febrianto  
NRP 2312 105 007

Diki Dinar Ramadhika  
NRP 2312 105 021

Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Sri Rachmania Juliastuti, M.Eng  
NIP. 1959 07 30 1986 03 2001

Ir. Nuniek Hendrianie, M. T.  
NIP. 1957 11 11 1986 01 2001

**JURUSAN TEKNIK KIMIA  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2015**



**FINAL PROJECT – TK091581**

**MULTILAYER PLASTIC PACKAGING WASTE  
TREATMENT LDPE (LOW DENSITY POLYETHYLENE)  
PYROLYSIS BY USING CONVENTIONAL PYROLYSIS  
AND MICROWAVE PYROLYSIS**

**By :**

**Arief Febrianto  
NRP 2312 105 007**

**Diki Dinar Ramadhika**

**NRP 2312 105 021**

**Advisor**

**Dr. Ir. Sri Rachmania Juliastuti, M.Eng  
NIP. 1959 07 30 1986 03 2001**

**Ir. Nuniek Hendrianie, M. T.  
NIP. 1957 11 11 1986 01 2001**

**CHEMICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA 2015**

**Pengolahan Limbah Kemasan Plastik Multilayer LDPE  
(Low Density Polyethilene) dengan Menggunakan**

**Metode Pirolisis Konvensional dan Pirolisis  
Microwave**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kimia  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**Arief Febrianto**

NRP.2312105007

**Diki Dinar Ramadhika**

NRP.2312105021

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Ir. Sri Rachmania Juliastuti, M.Eng ..... *SRI RACHMANIA JULIASTUTI* (Pembimbing I)
2. Ir. Nuniek Hendrianie, M.T. .... *NUNIEK HENDRIANIE* (Pembimbing II)
3. Dr. Ir. Sumarno, M. Eng..... *SUMARNO* (Penguji I)
4. Siti Nurkhamidah,S.T.,MS,Ph.D ..... *SITI NURKHAMIDAH* (Penguji II)



**SURABAYA,  
JANUARI, 2015**

# **PENGOLAHAN LIMBAH KEMASAN PLASTIK MULTILAYER LDPE (*LOW DENSITY POLYETHILENE*) DENGAN MENGGUNAKAN METODE PIROLISIS KONVENTIONAL DAN PIROLISIS MICROWAVE**

Nama / NRP	:	1. Arief Febrianto	2312105007
		2. Diki Dinar R.	2312105021
Jurusan	:	Teknik Kimia FTI-ITS	
Dosen Pembimbing	:	Dr. Ir. Sri Rachmania Juliastuti, M.Eng	
		Ir. Nuniek Hendrianie, M.T.	

## **ABSTRAK**

Peningkatan konsumsi energi dan peningkatan timbunan sampah merupakan dua permasalahan yang muncul seiring dengan pertumbuhan ekonomi dan pertambahan penduduk. Untuk mengatasi masalah sampah, khususnya limbah plastik, para pakar lingkungan dan ilmuwan dari berbagai disiplin ilmu telah melakukan berbagai penelitian dan tindakan. Salah satu caranya dengan mendegradasi limbah plastik kemasan multilayer LDPE (*Low Density Polyethilene*) dengan proses pirolisis konvensional dan pirolisis microwave. Tujuan dari percobaan ini adalah untuk mengetahui pengaruh suhu dan waktu proses pirolisis konvensional dan pirolisis microwave dalam mendegradasi limbah plastik LDPE dan membandingkannya. Proses pirolisis dilakukan menggunakan reaktor tertutup *semi batch stainless steel unstirred berkapasitas*  $3,5 \text{ dm}^3$  operasi pada tekanan dalam reaktor 1 atm dan dialirkannya nitrogen  $0,5 \text{ L/min}$ . Sampel limbah plastik yang digunakan sebanyak 60 gram plastik jenis low density polietilen (LDPE). Sampel dipanaskan sampai suhu 250, 350, atau  $500^\circ\text{C}$  dan dipertahankan pada variabel waktu yaitu

selama 10, 30, dan 60 menit. Cara tersebut dilakukan juga pada proses pirolisis microwave menggunakan reaktor kaca. Produk liquid dianalisa dengan gas *chromatography-mass spectrometry* (GC-MS), gas tak terkondensasi dianalisa dengan gas kromatografi (GC) dan bahan baku dianalisa menggunakan *Fourier Transform infrared* (FTIR) dan menghitung yield produk cair, padat dan konsentrasi gas. Dari hasil percobaan didapatkan pirolisis microwave lebih baik dibandingkan pirolisis konvensional pada kondisi operasi  $500^{\circ}\text{C}$  60 menit dengan yield padat sebesar 4,67%, yield cair sebesar 23,65%, dan konsentrasi  $\text{CH}_4$  sebesar 30,41% daripada konvensional pada kondisi operasi yang sama diperoleh yield padat sebesar 9,50%, yield cair sebesar 15,77%, dan konsentrasi  $\text{CH}_4$  sebesar 30,78%.

*Kata Kunci : pirolisis konvensional, pirolisis microwave, limbah plastik kemasan multilayer low density polyethylene (LDPE)*

# **MULTILAYER PLASTIC PACKAGING WASTE TREATMENT LDPE (LOW DENSITY POLYETHYLENE) PYROLYSIS BY USING CONVENTIONAL PYROLYSIS AND MICROWAVE PYROLYSIS**

Name / NRP	:	1. Arief Febrianto	2312105007
		2. Diki Dinar R.	2312105021
Department	:	Chemical Engineer FTI-ITS	
Advisor	:	Dr. Ir. Sri Rachmania Juliastuti, M.Eng	
		Ir. Nuniek Hendrianie, M.T.	

## **ABSTRACT**

Increased energy consumption and an increase in waste generation are two problems that rise due to economic growth and population growth. To overcome the problem of waste, especially plastic waste, environmental experts and scientists from various disciplines have conducted various studies and actions. One way to degrade plastic waste multilayer packaging LDPE (Low Density Polyethilene) with conventional pyrolysis and pyrolysis processes microwave. The purpose of this experiment was to determine the effect of temperature and time of conventional pyrolysis process and degrade the microwave pyrolysis of waste plastics LDPE and compare them. Pyrolysis process is done using a semi-closed reactor unstirred batch of stainless steel with a capacity of  $3.5 \text{ dm}^3$  pressure in the reactor is operating at 1 atm and nitrogen flowed  $0, 5 \text{ L / min}$ . Samples of waste plastics are used as much as 60 grams of low-density polyethylene plastics (LDPE). The sample is heated to a temperature of 250, 350, or  $500^\circ\text{C}$  and maintained at that time variables for 10, 30, and 60 minutes. This way is done well in the microwave pyrolysis

process using glass reactor. Liquid products were analyzed by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS), non-condensable gas was analyzed by gas chromatography (GC) and pyrolysis samples were analyzed using Fourier Transform Infrared (FTIR) and calculating the yield of liquid products, solid and concentration of gas. From the experimental results obtained microwave pyrolysis better than conventional pyrolysis at 500°C operating conditions of 60 minutes at a yield of 4.67% solid, liquid yield of 23.65%, and concentration of CH<sub>4</sub> 30.41% yield than conventional on the same operating conditions obtained solid yield 9 , 50%, liquid yield of 15.77%, and concentration of CH<sub>4</sub> 30.78%.

**Keywords:** conventional pyrolysis, microwave pyrolysis, multilayer packaging plastic waste low density polyethylene (LDPE)

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur atas kehadirat Tuhan YME karena berkat Rahmat dan karunia-Nya yang telah memberi segala kemudahan dan kekuatan kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan laporan skripsi ini yang berjudul "**PENGOLAHAN LIMBAH KEMASAN PLASTIK MULTILAYER LDPE (LOW DENSITY POLYETHYLENE) DENGAN MENGGUNAKAN METODE PIROLISIS KONVENTSIONAL DAN PIROLISIS MICROWAVE**" yang merupakan salah satu syarat kelulusan bagi mahasiswa Teknik Kimia FTI-ITS Surabaya.

Keberhasilan penulisan laporan skripsi ini tidak lepas dari dorongan dan bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada :

1. Allah SWT atas rahmat dan hidayah yang diberikan.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Tri Widjaja, M.Eng., selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
3. Ibu Dr. Ir. Sri Rachmania Juliastuti, M.Eng dan Ibu Ir. Nuniek Hendrianie, MT selaku Dosen Pembimbing Skripsi atas bimbingan dan saran yang telah diberikan.
4. Bapak dan Ibu Dosen pengajar serta seluruh karyawan Jurusan Teknik Kimia.
5. Orang Tua dan keluarga kami yang telah banyak memberikan dukungan baik moral maupun spiritual.
6. Seluruh keluarga besar Laboratorium Pengolahan Limbah Industri atas support dan memberikan suasana yang kondusif dalam pengerjaan laporan skripsi ini.
7. Semua pihak yang telah membantu penyelesaian laporan skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penyusunan laporan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun demi

kesempurnaan dan untuk penelitian di masa yang akan datang. Akhirnya semoga skripsi ini dapat memberikan kontribusi yang bermanfaat bagi pembaca dan penulis khususnya.

Surabaya, Januari 2015

Penulis

## DAFTAR ISI

Lembar Pengesahan		
Abstrak	i	
Kata Pengantar	v	
Daftar Isi	vii	
Daftar Tabel	ix	
Daftar Gambar	x	
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>		
I.1. Latar Belakang	1	
I.2. Rumusan Masalah	4	
I.3. Tujuan Penelitian	4	
I.4. Manfaat Penelitian	4	
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>		
II.1. Limbah Plastik	5	
II.2. Pirolisis	9	
II.3. Senyawa Hidrokarbon	11	
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>		
III.1. Variabel Penelitian	13	
III.2. Besaran yang Diukur	13	
III.3. Peralatan yang Digunakan	14	
III.4. Bahan yang Digunakan	14	
III.5. Prosedur Penelitian	15	
III.6. Diagram Alir Percobaan	18	
III.7. Gambar Peralatan	20	
III.8. Teknik Analisis	22	
III.9. Jadwal Kegiatan	23	
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>		
IV.1. Analisa Bahan Baku	25	
IV.2. Yield Liquid dan Solid (Konvensional)	26	
IV.3. Yield Gas Pirolisis Konvensional	29	
IV.4. Yield Liquid dan Solid ( <i>Microwave</i> )	31	
IV.5. Yield Gas Pirolisis <i>Microwave</i>	33	
IV.6. Senyawa Hidrokarbon Hasil Pirolisis	35	
IV.7. Peningkatan Yield Produk Padat dan Cair	25	

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
V.1. Kesimpulan	43
V.2. Saran	43
Daftar Pustaka	xi
Appendiks	A-1
Biodata Penulis	

## **DAFTAR TABEL**

Tabel 3.1	Jadwal Kegiatan	23
Tabel 4.1	Hasil Analisa FTIR	26

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Limbah Plastik	5
Gambar 2.2	Rantai Struktur Polietilen Tereftalat	6
Gambar 2.3	Plastik Polivinil Klorida	7
Gambar 3.1	Diagram Alir Proses Pirolisis Konvensional	18
Gambar 3.2	Diagram Alir Proses Pirolisis <i>Microwave</i>	19
Gambar 3.3	Rangkaian Alat Proses Pirolisis Konvensional	20
Gambar 3.3	Rangkaian Alat Proses Pirolisis <i>Microwave</i>	21
Gambar 4.1	Spektrum FTIR LDPE	25
Gambar 4.2	Yield Produk Cair (Konvensional)	26
Gambar 4.3	Yield Padat (Konvensional)	28
Gambar 4.4	Konsentrasi Gas CH <sub>4</sub> (Konvensional)	29
Gambar 4.5	Konsentrasi Gas CO <sub>2</sub> (Konvensional)	30
Gambar 4.6	Yield Produk Cair ( <i>Microwave</i> )	31
Gambar 4.7	Yield Padat ( <i>Microwave</i> )	32
Gambar 4.8	Konsentrasi Gas CH <sub>4</sub> ( <i>Microwave</i> )	33
Gambar 4.9	Konsentrasi Gas CO <sub>2</sub> ( <i>Microwave</i> )	34
Gambar 4.10	Gugus Hidrokarbon (Konvensional) 10 menit	35
Gambar 4.11	Gugus Hidrokarbon ( <i>Microwave</i> ) 10 menit	35
Gambar 4.10	Gugus Hidrokarbon (Konvensional) 30 menit	36
Gambar 4.11	Gugus Hidrokarbon ( <i>Microwave</i> ) 30 menit	36
Gambar 4.10	Gugus Hidrokarbon (Konvensional) 60 menit	37
Gambar 4.11	Gugus Hidrokarbon ( <i>Microwave</i> ) 60 menit	37
Gambar 4.16	Penurunan Yield Padat (Konvensional)	39
Gambar 4.17	Penurunan Yield Padat ( <i>Microwave</i> )	39
Gambar 4.18	Peningkatan Yield Cair (Konvensional)	40
Gambar 4.19	Peningkatan Yield Cair ( <i>Microwave</i> )	40

## **BAB I** **PENDAHULUAN**

### **I.1 Latar Belakang**

Peningkatan konsumsi energi dan penimbunan sampah merupakan dua permasalahan yang muncul seiring dengan pertumbuhan ekonomi dan pertambahan penduduk. Menteri Lingkungan hidup, Balthasar Kambuaya, Sabtu 14 April 2012 saat meresmikan Bank Sampah di Palembang mengatakan bahwa rata-rata penduduk Indonesia menghasilkan sekitar 2,5 liter sampah per hari atau 625 juta liter dari jumlah total penduduk. Kondisi ini akan terus bertambah sesuai dengan kondisi lingkungannya.

Estimasi jumlah timbunan sampah di Indonesia pada tahun 2008 mencapai 38,5 juta ton/tahun dengan komposisi terbesar adalah sampah organik (58 %), sampah plastik (14 %), sampah kertas (9 %) dan sampah kayu (4 %). Salah satu permasalahan penting mengenai lingkungan di dunia ataupun di Indonesia khususnya, adalah mengenai sampah plastik. Data dari Kementerian Lingkungan Hidup Indonesia menunjukkan bahwa jumlah sampah plastik yang terbuang mencapai 26.500 ton per hari. Sampah dunia ternyata didominasi oleh sampah plastik dengan persentase 32%. Meningkatnya jumlah sampah plastik ini menjadi sebuah hal yang dapat mengancam kestabilan ekosistem lingkungan, mengingat plastik yang digunakan saat ini adalah nonbiodegradable (plastik yang tidak dapat terurai secara biologis).

Sektor industri bahan baku plastik dan produk plastik sangat dipengaruhi oleh sektor petrokimia sekunder, khususnya produsen polyethylene (PE) dan polypropylene (PP), yang merupakan pemasok utama bahan baku industri ini. Menurut data Kementerian Perindustrian RI, dalam lima tahun terakhir periode 2005-2009 tingkat produksi industri PP mengalami pertumbuhan rata-rata sekitar 3,2% per tahun yaitu dari 525.915 ton pada 2005 meningkat menjadi 593.000 ton pada 2009. Kapasitas produksi

PP di Indonesia mencapai 670.000 untuk memasok industri karung plastik, karpet, dan barang-barang rumah tangga.

Barang berbahan baku plastik umumnya lebih ringan, bersifat isolator, mudah dalam perancangan, dan biaya pembuatan murah. Sayangnya, dibalik segala kelebihan itu, limbah plastik menimbulkan masalah bagi lingkungan. Penyebabnya tak lain sifat plastik yang tidak dapat diuraikan dalam tanah. Perlu waktu berpuluhan-puluhan tahun untuk tanah menguraikan limbah-limbah dari bahan plastik.

Rodiansono, dkk (2007) Untuk mengatasinya, para pakar lingkungan dan ilmuwan dari berbagai disiplin ilmu telah melakukan berbagai penelitian dan tindakan. Salah satunya dengan mendaur ulang limbah plastik. Alternatif yang digunakan untuk mengurangi volume sampah plastik dibagi dalam tiga macam proses, yaitu daur ulang, transformasi thermal dan transformasi biologis. Proses transformasi thermal terbagi tiga macam pengolahan, yaitu combustion, gasification dan pyrolysis. Pirolisis merupakan alternatif untuk pengolahan limbah plastik, karena dari proses ini didapatkan liquid dan bahan bakar gas dari limbah plastik.

Pirolisis yaitu pemanasan pada kondisi bebas oksigen. Dalam proses pirolisis umumnya adalah mendegradasi suatu senyawa-senyawa yang terdapat dalam suatu material untuk memecahnya menjadi senyawa-senyawa parsial. Dalam suatu penelitian yang sudah sering dilakukan adalah bertujuan untuk mengambil senyawa hidrokarbon dalam suatu bentuk ikatan plastik. Senyawa turunan hidrokarbon mempunyai kegunaan yang sangat banyak dan mencakup semua bidang kehidupan. Hidrokarbon (minyak dan gas) mayoritas digunakan sebagai bahan bakar untuk menghasilkan energi dan untuk memanaskan ruangan. (<http://linarfad.wordpress.com>)

Lee, dkk (2000) menterjemahkan dalam penelitian ini pirolisis akan dilakukan dengan 2 tipe yaitu:

1. Pirolisis Konvensional
2. Pirolisis Microwave

Pirolisis konvensional merupakan suatu tipe proses pirolisis yang paling umum dengan menggunakan pemanasan langsung dari aliran listrik yang menjadi sumber panasnya. Sedangkan pirolisis microwave adalah proses pirolisis yang menggunakan gelombang mikro sebagai media pemanasnya. Gelombang mikro adalah gelombang elektromagnetik dengan frekuensi yang sangat tinggi, pada umumnya sebesar 2450 MHz dengan panjang gelombang 12,24 cm. Radiasi gelombang mikro yang diserap suatu benda akan menghasilkan efek pemanasan pada benda tersebut dan hal inilah yang menyebabkan suatu material tersebut menjadi panas tanpa disertai O<sub>2</sub>.

Keane, dkk (2009) menyatakan dalam penelitiannya bahwa hal utama yang harus mendapat perhatian khusus pada proses pirolisis adalah reaksi pemotongan rantai molekul. Saat proses pirolisis berjalan terjadi pemotongan secara acak sehingga menghasilkan fraksi-fraksi molekul dengan aneka berat molekul (distribusi variasi molekul yang lebar).

Angga, (2013) melalui penelitiannya terhadap polistiren (PS) limbah plastik pada saat terdegradasi untuk memutus rantai utama polimer PS mengalami inisiasi degradasi pada suhu 380°C dengan kecepatan peluruhan rendah. Pada spektrum FTIR (Fourier Transfer Infra Red) panjang gelombang ini menunjukkan bahwa adanya gugus C-H aromatik.

Khalimatus, (2013) dengan penelitian pirolisis menggunakan bahan limbah plastik jenis polipropilen (PP) menunjukkan bahwa dengan jenis plastik ini gugus fungsi C-H yang paling banyak dihasilkan adalah alkana dan alkena. Hal ini sesuai karena polipropilen tersusun dari senyawa alkana yang memiliki cabang metil.

## I.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah :

1. Membandingkan pengaruh suhu dan waktu proses pirolisis konvensional dan pirolisis *microwave* dalam mendegradasi limbah plastik kemasan multilayer LDPE?
2. Membandingkan yield produk padat, cair, dan gas yang diperoleh dari pirolisis konvensional dan pirolisis *microwave*?

## I.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh suhu dan waktu proses pirolisis konvensional dan pirolisis *microwave* dalam mendegradasi limbah plastik kemasan multilayer LDPE.
2. Mengetahui hasil yield produk padat, cair, dan gas yang diperoleh dari pirolisis konvensional dan pirolisis *microwave*.

## I.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Memberikan alternatif pengoperasian macam proses pirolisis dan kondisi operasi yang optimum untuk mengolah limbah plastik.
2. Mendaur ulang limbah plastik untuk mengurangi penimbunan sampah dan menghasilkan produk yang berguna.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### II.1 Limbah Plastik

Sampah plastik yang ringan dan jumlahnya yang banyak sering berakhir di laut, menyebabkan kematian 100 ribu hewan laut per tahun. Selain itu, racun-racun dari partikel plastik yang masuk dalam tanah juga akan membunuh hewan-hewan pengurai di dalam tanah seperti cacing. Siklus air juga jadi terganggu jika banyak sampah plastik di tanah.



Gambar 2.1 Limbah Plastik

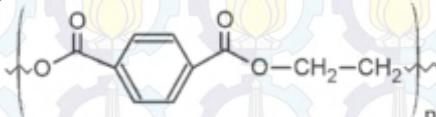
Limbah plastik dibuat dari bahan sintetis, umumnya menggunakan minyak bumi sebagai bahan dasar, ditambah bahan-bahan tambahan yang umumnya merupakan logam berat (kadmium, timbal, nikel) atau bahan beracun lainnya seperti *chlor*. Racun dari plastik ini terlepas pada saat terurai atau terbakar.

Penguraian plastik akan melepaskan berbagai jenis logam berat dan bahan kimia lain yang dikandungnya. Bahan kimia ini terlarut dalam air atau terikat di tanah, dan kemudian masuk ke tubuh kita melalui makanan dan minuman.  
[\(http://www.isomwebs.com\)](http://www.isomwebs.com)

Tidak semua plastik aman untuk digunakan oleh manusia. Ada plastik yang memiliki kandungan berbahaya sehingga sama sekali tak boleh digunakan sebagai wadah makanan ataupun minuman, ada plastik yang hanya boleh sekali dipakai, ada pula jenis plastik yang boleh dipakai berulang kali. Berikut adalah kode jenis plastik yang umum digunakan sebagai kemasan makanan dan minuman. Jenis plastik ini sudah diakui oleh lembaga internasional seperti *International Organization for Standardization* (ISO) yang menetapkan standarisasi setiap produk yang dijual di pasaran di seluruh dunia:

### 1. Polietilen tereftalat (PET)

Polietilena tereftalat seperti pada gambar 2.2 (disingkat PET, PETE atau dulu PETP, PET-P) adalah suatu resin polimer plastik termoplas dari kelompok poliester. PET banyak diproduksi dalam industri kimia dan digunakan dalam serat sintetis, botol minuman dan wadah makanan.



Gambar 2.2 Rantai Struktur Polietilen tereftalat

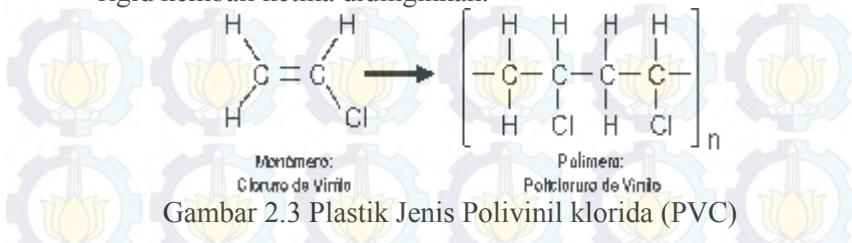
### 2. High Density Polyethylene (HDPE)

HDPE (densitas: 935–956 kg/m<sup>3</sup>) adalah senyawa termoplastik dari atom karbon yang bergabung menghasilkan berat molekul yang tinggi. Gas metana diubah menjadi etilen, kemudian dengan aplikasi panas dan tekanan, diubah lagi menjadi polietilen. Kemasan plastik dengan kode HDPE biasanya dijumpai pada botol susu cair dan jus, plastik belanjaan, tutup plastik, galon air minum, dan beberapa jenis *tupperware*. Rekomendasi para ahli untuk plastik jenis ini adalah sekali pakai.

### 3. Polivinil klorida (PVC)

Polimer polivinil klorida (PVC) seperti gambar 2.5 termasuk ke dalam jenis polimer termoplastik : suatu substansi

yang kehilangan bentuknya ketika dipanaskan dan menjadi rigid kembali ketika didinginkan.



Gambar 2.3 Plastik Jenis Polivinil klorida (PVC)

#### 4. Low Density Polyethylene (LDPE)

LDPE adalah yang paling mahal, paling fleksibel (lebih dari HDPE), dan memiliki ketahanan baik dalam bentuk film. LDPE juga rentan terhadap retak stres, terutama oleh deterjen. Kemasan makanan yang lembek seperti bungkus cokelat bermerk tertentu menggunakan plastik jenis LDPE berlapis aluminium foil. Plastik ini sifatnya lentur dan kuat, tahan air dan mudah untuk didaur ulang.

#### 5. Polipropilen (PP)

Syarat utama PP antara lain ringan, mudah dibentuk, transparan, jernih (kemasan kaku tidak transparan); kekuatan tarik lebih besar dari PE, suhu rendah, rapuh, mudah pecah; lebih kaku dari PE, tidak mudah sobek; permeabilitas uap air rendah, permeabilitas gas sedang; tahan suhu tinggi ( $150^{\circ}\text{C}$ ) terutama untuk makanan sterilisasi; titik leleh tinggi; tahan terhadap asam kuat, basa dan minyak; pada suhu tinggi bereaksi dengan benzena, siklen, toluen, terpentin, asam nitrat kuat.

#### 6. Polistiren (PS)

Polistirena padat murni adalah sebuah plastik tak berwarna, keras dengan fleksibilitas yang terbatas yang dapat dibentuk menjadi berbagai macam produk dengan detail yang bagus. Penambahan karet pada saat polimerisasi dapat meningkatkan fleksibilitas dan ketahanan kejut. Polistirena

jenis ini dikenal dengan nama *High Impact Polystyrene* (HIPS). Polistirena murni yang transparan bisa dibuat menjadi beraneka warna melalui proses *compounding*. Polistirena banyak dipakai dalam produk-produk elektronik sebagai casing, kabinet dan komponen-komponen lainnya. Peralatan rumah tangga yang terbuat dari polistirena, misalnya sapu, sisir, baskom, gantungan baju, ember.

#### 7. Other (O)

Other adalah jenis plastik selain keenam plastik yang telah disebutkan di atas. Ada 4 jenis plastik yang digolongkan ke dalam plastik jenis ini, antara lain *Styrene Acrylonitrile* (SAN), *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS), *Polycarbonate* (PC), dan *Nylon*. Plastik jenis ABS dan SAN amat baik untuk digunakan sebagai kemasan makanan dan minuman karena kedua jenis tersebut kuat dalam mencegah reaksi kimia yang bisa membahayakan kesehatan. Jenis plastik PC amat berbahaya karena mengandung Bisphenol A yang dapat merusak sistem kromosom dan hormon, menurunkan kualitas sperma, dan mempengaruhi sistem kekebalan diri.

Sifat plastik dan bahan organik sangat berbeda. Bahan organik mengandung bahan-bahan alami yang bisa diuraikan oleh alam dengan berbagai cara, bahkan hasil penguraianya berguna untuk berbagai aspek kehidupan. Beberapa cara telah dilakukan untuk mengolah sampah plastik, baik melalui proses fisika, daur ulang maupun proses kimiawi. Proses kimiawi yang telah dilakukan seperti memecah rantai polimer plastik (depolimerisasi). Metode pemecahan rantai polimer yang sudah dikenal adalah pirolisis, gasifikasi, degradasi termal maupun katalitik, dan pencairan termal maupun katalitik (Radionsono, 2007).

Plastik merupakan bahan kemasan utama saat ini. Salah satu jenis plastik adalah *Polyethylene* (PE). Polietilen dapat dibagi menurut massa jenisnya menjadi dua jenis, yaitu: *Low Density Polyethylene* (LDPE) dan *High Density Polyethylene* (HDPE).

LDPE mempunyai massa jenis antara 0,74-0,76 g/mL dan memiliki titik leleh 115°C. Kebanyakan LDPE dipakai sebagai pelapis komersial, plastik, lapisan pelindung sabun, dan beberapa botol yang fleksibel. Kelebihan LDPE sebagai material pembungkus adalah harganya yang murah, proses pembuatan yang mudah, sifatnya yang fleksibel, dan mudah didaur ulang. Selain itu, LDPE mempunyai daya proteksi yang baik terhadap uap air, namun kurang baik terhadap gas lainnya seperti oksigen. LDPE juga memiliki ketahanan kimia yang sangat tinggi, namun mlarut dalam benzene dan *tetrachlorocarbon* ( $CCl_4$ ) (Billmeyer, 1971).

LDPE diproduksi dari gas etilen pada tekanan dan suhu tinggi dalam reaktor yang berisi pelarut hidrokarbon dan katalis logam yaitu *Ziegler Catalysts*. Polimer yang dihasilkan berupa pulp yang kemudian difiltrasi dari pelarutnya. LDPE disintesis secara komersial pada tahun 1940. Sintesis tersebut menghasilkan LDPE dengan rantai bercabang. Hasil ini dibuktikan dengan spektroskopi IR. Percabangan LDPE dapat mengandung 50 cabang pendek dan paling sedikit 1 cabang panjang setiap basisnya. (Billmeyer, 1971)

*Microwave* adalah sebuah gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang antara 1 milimeter sampai 1 meter dan berfrekuensi antara 300 megahertz sampai 300 gigahertz. *Oven* adalah sebuah peralatan dapur yang digunakan untuk memasak atau memanaskan makanan. *Microwave oven* adalah sebuah peralatan dapur yang menggunakan radiasi gelombang mikro untuk memasak atau memanaskan makanan.

## II.2 Pirolisis

Pirolisis merupakan suatu proses dekomposisi material organik dengan panas tanpa mengandung oksigen. Bila oksigen ada pada suatu reaktor pirolisis maka akan bereaksi dengan material sehingga membentuk abu. Untuk menghilangkan oksigen, pada proses pirolisis biasanya dibantu oleh aliran gas innert sebagai fungsi untuk mengikat oksigen dan mengeluarkan

dari reaktor. Produk pirolisis berupa gas, fluida cair dan padat berupa karbon dan abu.

Pirolisis terbagi 2, yaitu :

1. Pirolisis primer

Pirolisis primer adalah proses pembentukan arang yang terjadi pada suhu  $150^{\circ}\text{C} - 300^{\circ}\text{C}$ . Proses pengarangan ini terjadi karena adanya energi panas yang mendorong terjadinya oksidasi sehingga molekul karbon yang komplek terurai sebagian besar menjadi karbon atau arang.

2. Pirolisis sekunder

Pirolisis sekunder adalah proses perubahan arang/karbon lebih lanjut menjadi karbon monoksida, gas hidrogen dan gas – gas hidrokarbon.

Pirolisis disebut juga sebagai gasifikasi parsial. Suatu rangkaian proses fisik dan kimia terjadi selama proses pirolisis yang dimulai secara lambat pada  $T < 100^{\circ}\text{C}$  dan terjadi secara cepat pada  $T > 200^{\circ}\text{C}$ . Komposisi produk yang tersusun merupakan fungsi temperatur, tekanan, dan komposisi gas selama pirolisis berlangsung. Proses pirolisis dimulai pada temperatur sekitar  $230^{\circ}\text{C}$ , ketika komponen yang tidak stabil secara termal, seperti volatil meter pada batubara, pecah dan menguap bersamaan dengan komponen lainnya. Produk pirolisis umumnya terdiri dari tiga jenis, yaitu cair (poliaromatik hidrokarbon, dll), padat dan gas ringan ( $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , dan  $\text{CH}_4$ ).

Pirolisis yang banyak digunakan dalam industri kimia, misalnya, untuk menghasilkan arang, karbon aktif, metanol dan bahan kimia lainnya dari kayu, untuk mengubah *ethylene dichloride* ke vinil klorida untuk membuat PVC, untuk memproduksi kokas dari batubara, untuk mengubah biomassa menjadi gas sintesis, untuk mengubah limbah menjadi bahan sekali pakai dengan aman, dan untuk memotong rantai hidrokarbon dari rantai yang panjang sampai rantai yang menengah dari minyak untuk memproduksi rantai yang lebih pendek seperti bensin.

Pirolisis katalitik adalah proses pirolisis yang menggunakan katalisator. Katalisator di sini berfungsi untuk memecah hidrokarbon rantai panjang menjadi hidrokarbon rantai pendek. Disamping itu, katalisator mampu meningkatkan kecepatan dekomposisi dan memperbesar produk cair hasil pirolisis.

### II.3 Senyawa Hidrokarbon

Hidrokarbon merupakan segolongan senyawa yang banyak terdapat di alam sebagai minyak bumi. Indonesia banyak menghasilkan minyak bumi yang mempunyai nilai ekonomi tinggi, diolah menjadi bahan bakar motor, minyak pelumas, dan aspal. (<http://free.vlsm.org>)

Beberapa contoh senyawa hidrokarbon ialah:  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_2$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$ ,  $\text{C}_3\text{H}_4$ , dan masih banyak lagi. Jumlah atom karbon dalam satu molekul hidrokarbon alami dapat mencapai puluhan. Karena jumlahnya yang sangat banyak tersebut, maka dilakukan penggolongan terhadap senyawa hidrokarbon. Secara garis besar, penggolongan senyawa hidrokarbon berdasarkan struktur molekul dan kejemuhan ikatan adalah sebagai berikut:

- a. n-parafin merupakan senyawa hidrokarbon jenuh berantai lurus (alkana/ $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ ). Contohnya adalah metana ( $\text{CH}_4$ ), etana ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ), n-butana ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ), isobutana (2-metil propana,  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ), isopentana (2-metilbutana,  $\text{C}_5\text{H}_{12}$ ), dan iso-oktana (2,2,4-trimetil pentana,  $\text{C}_8\text{H}_{18}$ ).
- b. Isoparafin: Senyawa yang mempunyai rantai cabang sangat sedikit, namun jumlah isoparafinnya dapat ditingkatkan melalui proses perengkahan katalitik, alkilasi, iso merasi dan polimerisasi. Contohnya adalah 1- metilbutana, 2-metilbutana.
- c. Olefin merupakan kelompok senyawa hidrokarbon tidak jenuh,  $\text{C}_n\text{H}_{2n}$ . Contohnya etilena ( $\text{C}_2\text{H}_4$ ), propena ( $\text{C}_3\text{H}_6$ ), dan butena ( $\text{C}_4\text{H}_8$ ). Senyawa olefin tidak stabil dan digunakan sebagai bahan baku untuk zat petrokimia.
- d. Aromatik merupakan hidrokarbon-hidrokarbon tak jenuh yang berintikan atom-atom karbon yang membentuk cincin benzen

(C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>). Contohnya benzen (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>), metilbenzen (C<sub>7</sub>H<sub>8</sub>), dan naftlena (C<sub>10</sub>H<sub>8</sub>).

- e. Nafta atau *cycloparaffin* merupakan senyawa hidrokarbon jenuh yang membentuk struktur cincin dengan rumus molekul C<sub>n</sub>H<sub>2n</sub>. Contohnya adalah siklopentana (C<sub>5</sub>H<sub>10</sub>), metilsiklopentana (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>) dan sikloheksana (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>).

## **BAB III** **METODOLOGI PENELITIAN**

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Pengolahan Limbah Industri, Jurusan Teknik Kimia, FTI-ITS.

### **III.1 Variabel Penelitian**

Kondisi operasi :

- Tekanan dalam reaktor 1 atm
- Rate Nitrogen 0,5 L/min
- 60 gr limbah kemasan plastik multilayer LDPE (low density polietilen)

Variabel penelitian merupakan sesuatu yang dijadikan obyek penelitian dan pengamatan. Dalam penelitian ini terdapat 2 variabel yang akan digunakan yaitu:

1. Waktu yang digunakan pada proses pirolisis konvensional dan pirolisis microwave adalah 10, 30 dan 60 menit
2. Suhu yang digunakan pada proses pirolisis konvensional dan pirolisis microwave adalah 250, 350 dan 500°C

### **III.2 Besaran yang Diukur**

Beberapa besaran yang diukur selama penelitian adalah:

1. Komposisi Produk Liquid (diperoleh dari hasil analisa)
2. Massa Solid
3. Komposisi Gas (diperoleh dari hasil analisa)
4. Yield Produk Liquid dan Produk Solid

Yield produk yang dihasilkan merupakan hasil perbandingan dari berat produk terhadap berat bahan baku limbah kemasan plastik multilayer LDPE (low density polietilen). Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\text{Yield} = (\text{Berat Komponen (gr)}/\text{Berat limbah plastik(gr)}) \times 100\%$$

### III.3 Peralatan yang Digunakan

#### III.3.1 Alat-alat yang digunakan pada pirolisis konvensional antara lain :

- |                                     |                           |
|-------------------------------------|---------------------------|
| 1. Tabung nitrogen                  | 9. Penampung Liquid       |
| 2. Rotameter                        | 10. Termometer            |
| 3. Reaktor pirolisis                | 11. Penampung gas         |
| 4. <i>Electric furnace</i>          | 12. Isolator              |
| 5. Alat pembacaan suhu thermocouple | 13. <i>Pressure gauge</i> |
| 6. Kondensor refluks                | 14. Pompa                 |
| 7. Inlet air pendingin              | 15. Tempat Sample         |
| 8. Outlet air pendingin             |                           |

#### III.3.2 Alat-alat yang digunakan pada pirolisis microwave antara lain :

- |                            |                          |
|----------------------------|--------------------------|
| 1. Gas N <sub>2</sub>      | 9. Penampung liquid      |
| 2. <i>Valve</i>            | 10. Pengatur daya        |
| 3. Microwave oven          | 11. Pengatur waktu       |
| 4. Reaktor                 | 12. Rotameter            |
| 5. Alat pembaca temperatur | 13. Outlet air pendingin |
| 6. Condensor               | 14. Inlet air pendingin  |
| 7. Termometer              | 15. Tempat sampel        |
| 8. Penampung gas           | 16. Pompa                |

### III.4 Bahan yang Digunakan

Bahan-bahan yang digunakan antara lain :

1. Limbah plastik LDPE
2. Air sebagai utilitas pendingin
3. Gas nitrogen

### III.5 Prosedur Penelitian

#### III.5.1 Prosedur Penelitian Pirolisis Konvensional

##### a. Persiapan Bahan

###### - Limbah Plastik

Limbah kemasan plastik multilayer LDPE yang akan digunakan diperoleh dari indogrosir surabaya bermerk “chiki balls”. Pertama limbah plastik dicuci dengan air bersih, untuk menghilangkan makanan yang masih menempel. Kemudian dipotong-potong dengan ukuran 3-5 mm dan dianalisa menggunakan FTIR (*Spektrofotometer Fourier Transform Infra Red*).

##### b. Pembuatan hidrokarbon

###### - Pirolisis

Proses pirolisis dilakukan menggunakan reaktor tertutup *semi batch stainless unstirred steel* berkapasitas  $3,5 \text{ dm}^3$  operasi pada tekanan 1 atm. Pertama menyiapkan sampel dari limbah plastik yang sudah di treatment.

Sampel 60 gr ditempatkan ke dalam reaktor dan nitrogen dialirkan ke dalam reaktor. Kemudian, sampel dipanaskan, dipertahankan pada variabel waktu dan suhu. Pengambilan produk (padat, cair, gas) dilakukan setelah percobaan selesai dilakukan, kemudian produk dalam bentuk padat ditimbang untuk mengetahui massa produk. Dan menghitung yield produk padatnya.

###### - Kondensasi

Dalam tiap run setiap uap meninggalkan reaktor dialirkan ke rangkaian air pendingin gas-cair separator, dimana liquid terkondensasi dikumpulkan dan dianalisa menggunakan *gas chromatography-mass spectrometry* (GC-MS) dan dibahas bedasarkan pengaruh kondisi operasi suhu dan waktu. Produk tak terkondensasi dilewatkan dan dikumpulkan secara keseluruhan dalam

drum penampung gas, untuk kemudian dianalisa menggunakan *gas chromatography* (GC).

### III.5.2 Prosedur Penelitian Pirolisis Microwave

#### a. Persiapan Bahan

##### - Limbah Plastik

Limbah kemasan plastik multilayer LDPE yang akan digunakan diperoleh dari indogrosir surabaya bermerk “chiki balls”. Pertama limbah plastik dicuci dengan air bersih, untuk menghilangkan makanan yang masih menempel. Kemudian dipotong-potong dengan ukuran 3-5 mm dan dianalisa menggunakan FTIR (*Spektrofotometer Fourier Transform Infra Red*).

#### b. Pembuatan hidrokarbon

##### - Pirolisis

Proses pirolisis dilakukan menggunakan microwave. Pertama menyiapkan sampel dari limbah plastik yang sudah di pre-treatment.

Sampel 60 gr ditempatkan ke dalam reaktor dan nitrogen dialirkan ke dalam reactor yang berada didalam microwave. Kemudian, microwave operasikan dan sampel dipanaskan, dipertahankan pada variabel waktu dan suhu. Pengambilan produk (padat, cair, gas) dilakukan setelah pecobaan selesai dilakukan, kemudian produk dalam bentuk padat ditimbang untuk mengetahui yield produk padatnya.

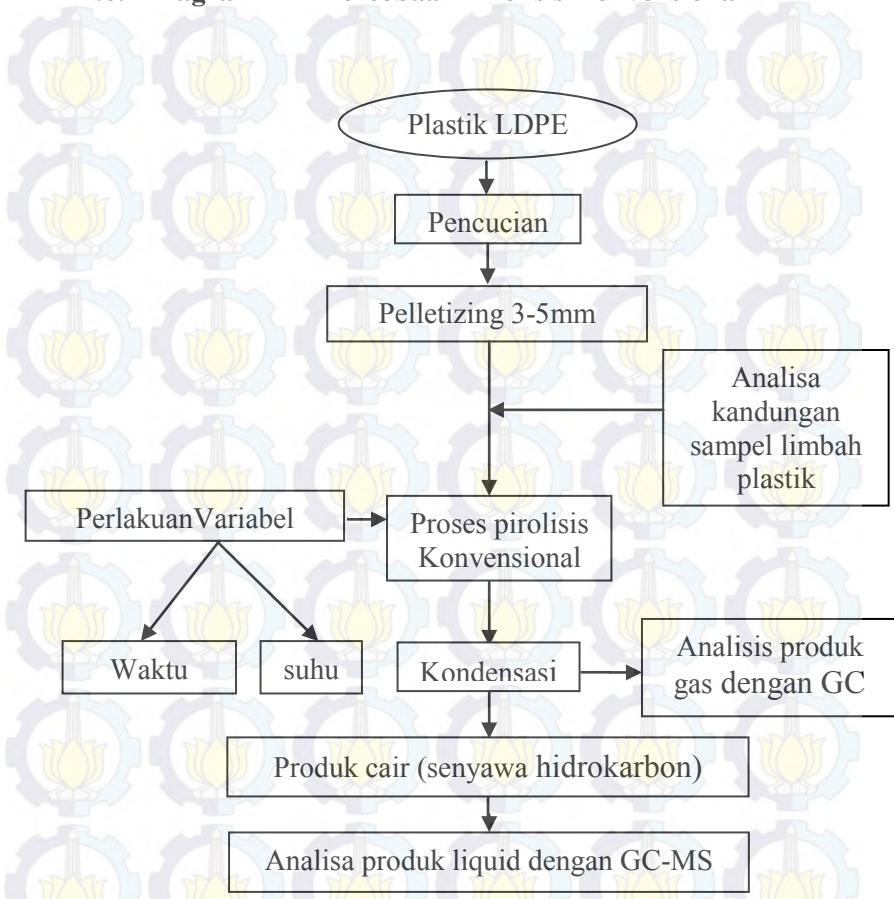
##### - Kondensasi

Dalam tiap run setiap uap meninggalkan reaktor dialirkan ke rangkaian air pendingin gas-cair separator, dimana liquid terkondensasi dikumpulkan dan dianalisa menggunakan *gas chromatography-mass spectrometry* (GC-MS) dan dibahas bedasarkan pengaruh kondisi operasi suhu dan waktu. Produk tak terkondensasi

dilewatkan dan dikumpulkan secara keseluruhan dalam drum penampung gas, untuk kemudian dianalisa menggunakan *gas chromatography* (GC).

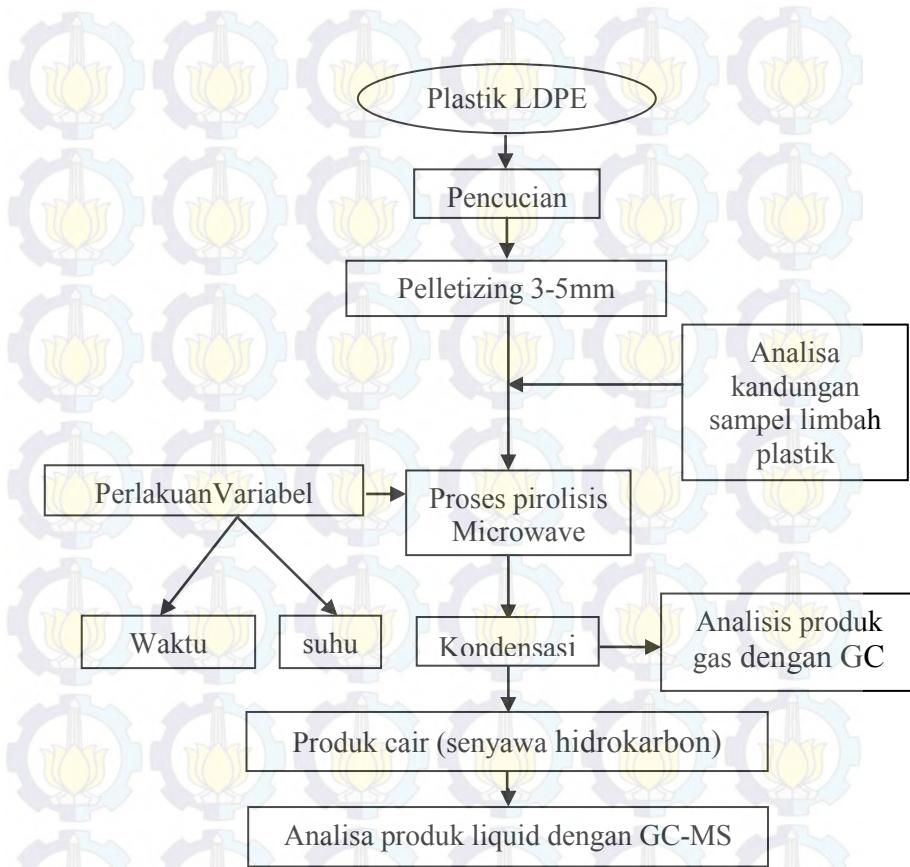
### III.6 Diagram Alir Percobaan

#### III.6.1 Diagram Alir Percobaan Pirolisis Konvensional



Gambar 3.1 Diagram Alir Proses Pirolisis Konvensional Limbah Plastik

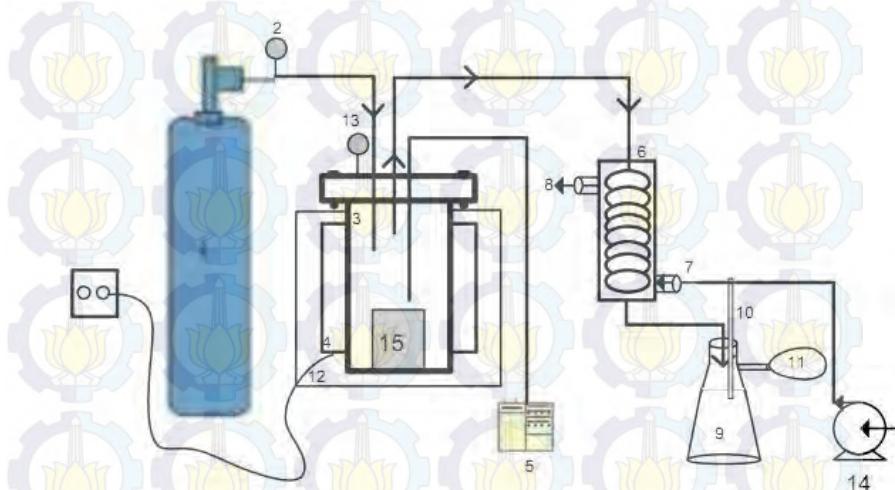
### III.6.2 Diagram Alir Percobaan Pirolisis Microwave



Gambar 3.2 Diagram Alir Proses Pirolisis Microwave Limbah Plastik

### III.7 Gambar Peralatan

#### III.7.1 Gambaran Peralatan Pirolisis Konvensional.

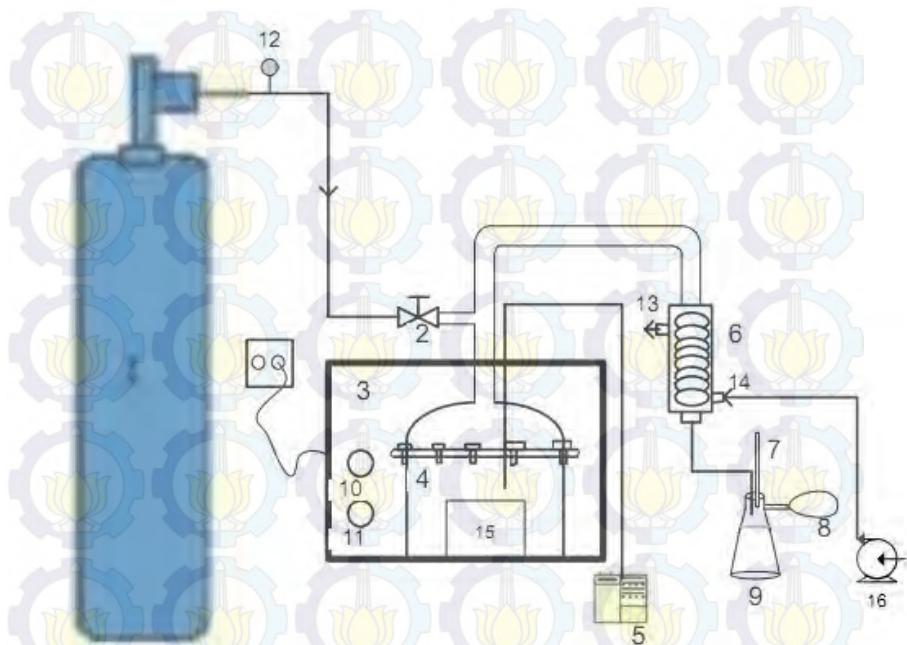


Gambar 3.3 Rangkaian Alat Proses Pirolisis Konvensional

Keterangan gambar :

- |                                     |                           |
|-------------------------------------|---------------------------|
| 1. Tabung nitrogen                  | 9. Penampung Liquid       |
| 2. Rotameter                        | 10. Termometer            |
| 3. Reaktor pirolisis                | 11. Penampung gas         |
| 4. <i>Electric furnace</i>          | 12. Isolator              |
| 5. Alat pembacaan suhu thermocouple | 13. <i>Pressure gauge</i> |
| 6. Kondensor refluks                | 14. Pompa                 |
| 7. Inlet air pendingin              | 15. Tempat Sample         |
| 8. Outlet air pendingin             |                           |

### III.7.2 Gambaran Peralatan Pirolisis Microwave



Gambar 3.4 Rangkaian Alat Proses Pirolisis Microwave

Keterangan gambar :

1. Gas N<sub>2</sub>
2. Valve
3. Microwave oven
4. Reaktor
5. Alat pembaca temperatur
6. Condensor
7. Termometer
8. Penampung gas
9. Penampung liquid
10. Pengatur daya
11. Pengatur waktu
12. Rotameter
13. Outlet air pendingin
14. Inlet air pendingin
15. Tempat sampel
16. Pompa

### III.8 Teknik Analisis

Analisis dilakukan untuk produk liquid dan gas. Untuk analisa bahan baku menggunakan *Spektrofotometer Fourier Transform Infra Red* untuk mengetahui gugus atau ikatan yang terkandung dalam sampel dan untuk cairan dianalisa dengan *gas chromatography-mass spectrometry* (GC-MS) dan *gas chromatography* (GC).

#### 1. Analisa Bahan Baku

Bahan baku dilakukan analisis *Spektrofotometer Fourier Transform Infra Red* (FTIR)

- Analisis bahan baku dengan *Spektrofotometer Fourier Transform Infra Red* dilakukan untuk mengetahui gugus yang terkandung dalam sample.

#### 2. Analisa Liquid

Produk untuk cairan dianalisa dengan *gas chromatography-mass spectrometry* (GC-MS).

- (GC-MS) merupakan gabungan dari dua sistem dan prinsip dasar yang berbeda satu sama lain tetapi dapat saling melengkapi, yaitu gabungan antara kromatografi gas dan spektrometer massa (GC-MS). Kedua alat dihubungkan dengan satu interfase. Kromatografi gas disini berfungsi sebagai alat pemisah berbagai komponen campuran dalam sampel, sedangkan spektrometer massa berfungsi untuk mendeteksi masing-masing molekul komponen yang telah dipisahkan pada sistem kromatografi gas. Dari kromatografi GC-MS akan diperoleh informasi struktur senyawa yang terdeteksi.

### 3. Analisa Gas

Produk untuk Gas dianalisa dengan *gas chromatography* (GC).

- (GC) Merupakan suatu instrumen yang digunakan untuk menganalisis senyawa-senyawa organik yang dapat diuapkan dalam GC di mana titik uapnya antara  $200^{\circ}\text{C}$  -  $350^{\circ}\text{C}$ . Biasanya senyawa-senyawa yang memiliki massa molekul relatif kecil. Detektor yang digunakan disesuaikan dengan senyawa yang dianalisis. GC biasanya memakai detektor thermal conductivity detector (TCD). Prinsip dasar adalah perubahan konduktivitas panas dari gas yang mengalir lewat detektor.

### **III.9 Jadwal Kegiatan**

Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan

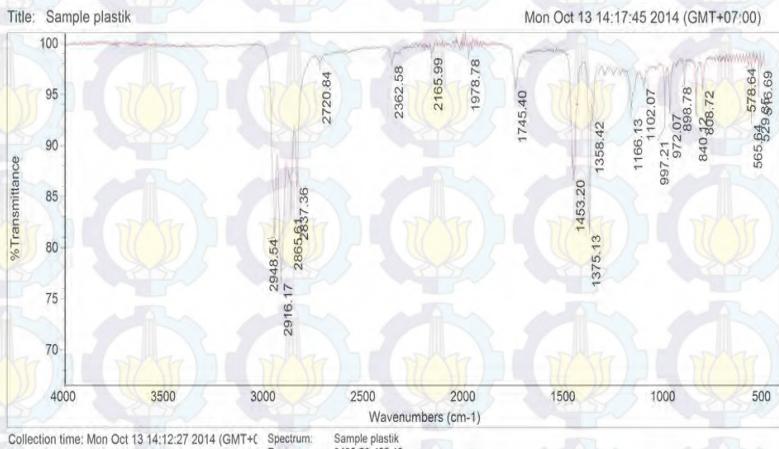
*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### IV.1 Analisa Bahan Baku

Pada penelitian ini bahan baku yang digunakan adalah plastik jenis *low density polyethylene* (LDPE). LDPE merupakan plastik yang dihasilkan dari proses polimerisasi. Polimerisasi dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu polimerisasi dalam bejana bertekanan tinggi (100-300 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 seperti dibawah ini :



Gambar IV.1 Spektrum FTIR LDPE

Dari hasil analisa bahan baku menggunakan Spektrofotometer *Fourier Transform Infra Red* (FTIR), diperoleh spektrum FTIR, yang menunjukkan puncak atau peak yang

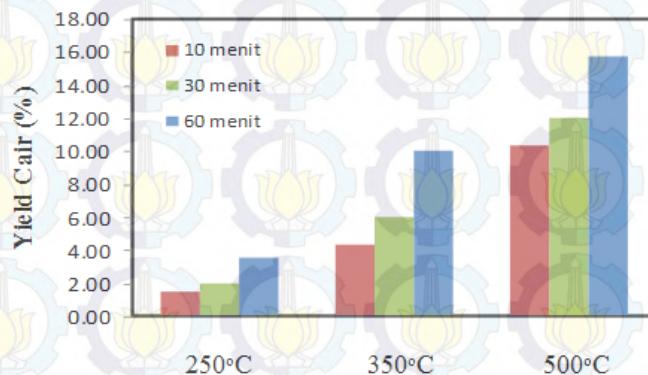
teridentifikasi oleh alat. Secara umum terdapat 4 peak yang menonjol, seperti yang ditunjukkan pada appendiks gambar A-1 dan ditabelkan pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Analisa FTIR

No	Frekuensi ( $\text{cm}^{-1}$ )	Gugus Fungsi
1	2916.17	C-H (alkana)
2	2362.58	C=H (alkena)
3	1453.20	-C-NO <sub>2</sub> (nitro aromatik)
4	1375.13	C-C (alkana rantai panjang)
5	1745.40	C-H-O (Ester)
6	972.07	Al-O

Gugus fungsi yang terda adalah senyawa alkana, alkena, nitro aromatik, ester dan aluminium . Dalam hal ini gugus fungsi ester merupakan zat aditif yang berfungsi sebagai pewarna plastik multilayer.

#### IV.2 Yield Produk Liquid dan Solid Hasil Pirolisis Konvensional

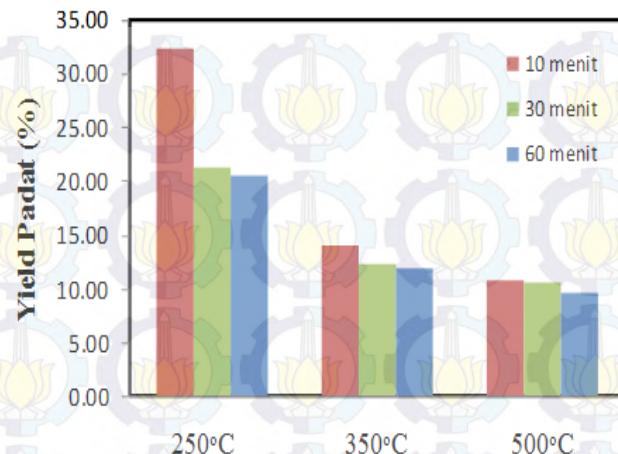


Gambar IV.2 %Yield cair dengan berbagai variabel waktu dan

Gambar IV.2 menunjukkan untuk tiap variabel suhu dengan berbagai variabel waktu mengalami peningkatan %yield cair dimana untuk pirolisis konvensional %yield cair lebih baik pada variabel waktu terlama dan suhu tertinggi yaitu pada waktu 60

menit dan suhu 500°C dengan %yield cair sebesar 13,75%. Hal ini sesuai teori dimana meningkatnya produk liquid hasil pirolisis dipengaruhi oleh lama waktu pirolisis, temperature pirolisis dan proses kondensasi yang optimum karena faktor ini yang mempengaruhi proses degradasi dari hidrokarbon pada multilayer packaging (Luca Rosi, 2014).

Proses pirolisis dibagi menjadi beberapa fase dimana menjadi pedoman kesuksesan prosesnya yaitu fase pengeringan, fase pirolisis, dan fase evolusi gas. Dalam hal ini produk cair yang dihasilkan akibat dari putusnya rantai karbon makromolekul dari Dekomposisi bahan organik, adapun hasil lain dari produk cair yang merupakan senyawa aditif (zat warna) dari plastik multilayer yang mengalami perubahan struktur molekul dari *gugus fungsi ester yaitu phthalate yang mempunyai titik lebur 230°C menjadi phenylnaphthalene dan naphthalene.*

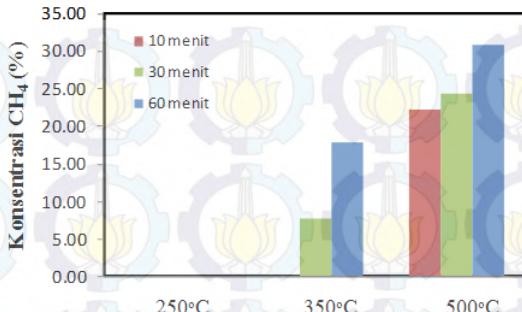


**Gambar IV.3 %Yield padat dengan berbagai variabel waktu dan suhu.**

Gambar IV.3 menunjukkan untuk tiap variabel suhu dengan berbagai variabel waktu mengalami penurunan %yield padat dan jika dibandingkan antara suhu 250,350,500°C dengan variabel suhu 10,30,60 menit menunjukkan profil yang sama yaitu mengalami penurunan %yield padat, tetapi untuk tiap %yield padat memiliki nilai yang berbeda untuk berbagai variabel suhu dan berbagai variabel waktu, dimana untuk pirolisis konvensional %yield padat lebih baik pada variabel waktu terlama dan suhu tertinggi yaitu pada waktu 60 menit dan suhu 500°C dengan %yield padat sebesar 9,50%. Hal ini sesuai teori dimana semakin lama waktu pirolisis maka bahan baku yang terdegradasi semakin banyak juga dan terkonversi menjadi produk. (Kadirunhalu, Mei 2012).

Hasil produk padat dari plastik multilayer dari proses pirolisis menghasilkan senyawa aromatik, olefin dan senyawa lain serta logam aluminium (Al) yang tidak terurai karena memiliki titik lebur 720°C.

### IV.3 Yield Produk Gas Hasil Pirolisis Konvensional

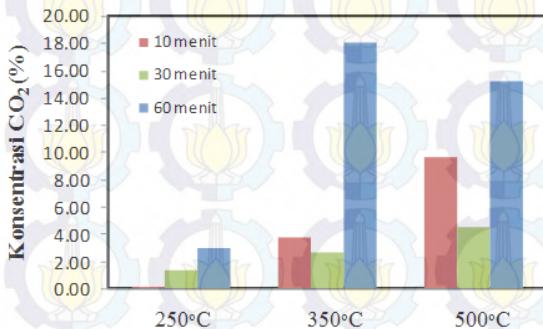


**Gambar IV.4** %Konsentrasi gas CH<sub>4</sub> dengan berbagai variabel waktu dan suhu

Dapat dilihat pada gambar IV.4 menunjukkan besar %konsentrasi CH<sub>4</sub> untuk tiap suhu dengan berbagai variabel waktu, dimana untuk %konsentrasi CH<sub>4</sub> pada suhu 250°C dengan berbagai variabel suhu belum terbentuk, sedangkan pada suhu 350°C pada variabel waktu 30,60 menit %konsentrasi CH<sub>4</sub> mulai terbentuk dan mengalami kenaikan %konsentrasi CH<sub>4</sub>, sedangkan pada suhu 500°C dengan berbagai variabel suhu %konsentrasi CH<sub>4</sub> mengalami kenaikan. Tiap %konsentrasi CH<sub>4</sub> memiliki nilai yang berbeda untuk berbagai variabel suhu dan berbagai variabel waktu, dimana untuk pirolisis konvensional %konsentrasi CH<sub>4</sub> lebih baik pada variabel waktu terlama dan suhu tertinggi yaitu pada waktu 60 menit dan suhu 500°C dengan %konsentrasi CH<sub>4</sub> sebesar 30,78%, adapun ketidak sesuaian dengan teori dimana pada suhu 350°C dan waktu 10 menit belum terbentuk %konsentrasi CH<sub>4</sub> hal ini disebabkan waktu proses terlalu singkat. Hal ini sesuai dengan teori bahwa gas yang dihasilkan pada proses pirolisis adalah hidrokarbon C<sub>1</sub>-C<sub>4</sub> dan CO<sub>x</sub> dimana pembentukannya terjadi pada temperatur 343-599°C. Peningkatan hasil produk dipengaruhi oleh waktu proses pirolisis dan temperatur pirolisis (Piero Frediani,2014).

Pada pirolisis untuk fase evolusi gas pemecahan komponen organik cair untuk menghasilkan komponen yang stabil (gas, hidrokarbon rantai pendek) senyawa aromatik (senyawa bensen).

Untuk fase gas CH<sub>4</sub> terbentuk awal pada suhu 350°C dan konsentrasi CH<sub>4</sub> semakin besar dengan bertambahnya temperatur.

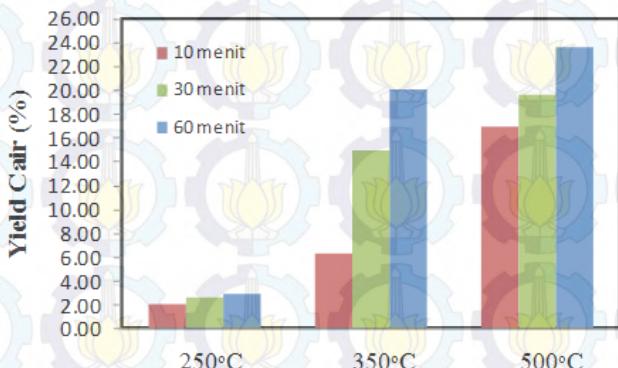


**Gambar IV.5** % Konsentrasi gas CO<sub>2</sub> dengan berbagai variabel waktu dan suhu

Dapat dilihat pada gambar IV.5 menunjukkan besar %konsentrasi CO<sub>2</sub> untuk tiap suhu dengan berbagai variabel waktu. Pada waktu 250°C dengan berbagai variabel waktu mengalami kenaikan %konsentrasi CO<sub>2</sub>, dan untuk suhu 350°C dari waktu 10,60 menit mengalami kenaikan %konsentrasi CO<sub>2</sub> tetapi terjadi penurunan pada waktu 30 menit, sedangkan suhu 500°C dari waktu 10,60 menit mengalami kenaikan %konsentrasi CO<sub>2</sub> tetapi terjadi penurunan pada waktu 30 menit, adapun ketidak sesuaian dengan teori dimana pada waktu 30 menit untuk suhu 350, 500°C %konsentrasi CO<sub>2</sub> mengalami penurunan hal ini dikarenakan efisiensi kerja alat dan human error. Dimana teori menjelaskan bahwa gas CO<sub>x</sub> akan meningkat bedasarkan lama waktu proses (Andrea Undri,2014).

Pada pirolisis untuk fase evolusi gas pemecahan komponen organik cair untuk menghasilkan komponen yang stabil (gas, hidrokarbon rantai pendek) senyawa aromatik (senyawa bensen). Untuk fase gas CO<sub>2</sub> terbentuk awal pada suhu 250°C dan konsentrasi CO<sub>2</sub> berbeda-beda karena proses degradasi plastik multiyer msik berlangsung.

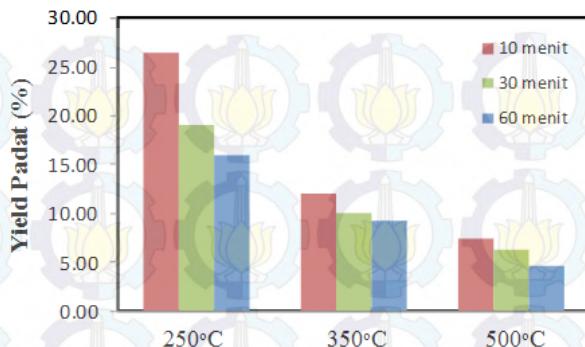
#### IV.4 Yield Produk Liquid dan Solid Hasil Pirolisis Microwave



**Gambar IV.6** %Yield cair dengan berbagai variabel waktu dan suhu.

Gambar IV.6 menunjukkan untuk tiap variabel suhu dengan berbagai variabel waktu mengalami peningkatan %yield cair dimana untuk pirolisis microwave %yield cair lebih baik pada variabel waktu terlama dan suhu tertinggi yaitu pada waktu 60 menit dan suhu 500°C dengan %yield cair sebesar 20,63%. Hal ini sesuai teori dimana meningkatnya produk liquid hasil pirolisis dipengaruhi oleh lama waktu pirolisis, temperatur pirolisis dan proses kondensasi yang optimum karena faktor ini yang mempengaruhi proses degradasi dari hidrokarbon pada multilayer packaging (Luca Rosi, 2014).

Proses pirolisis dibagi menjadi beberapa fase dimana menjadi pedoman kesuksesan prosesnya yaitu fase pengeringan, fase pirolisis, dan fase evolusi gas. Dalam hal ini produk cair yang dihasilkan akibat dari putusnya rantai karbon makromolekul dari Dekomposisi bahan organik, adapun hasil lain dari produk cair yang merupakan senyawa aditif (zat warna) dari plastik multilayer yang mengalami perubahan struktur molekul dari *gugus fungsi ester* yaitu *phthalate* yang mempunyai titik lebur 230°C menjadi phenylnaphthalene dan naphthalene.

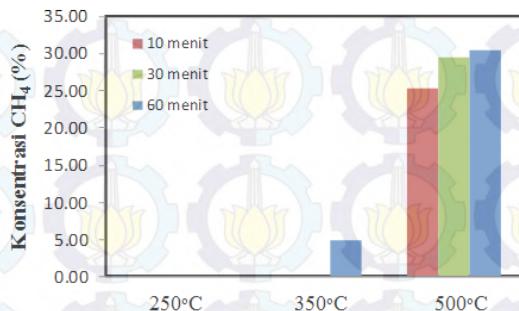


**Gambar IV.7** %Yield padat dengan berbagai variabel waktu dan suhu.

Gambar IV.7 menunjukkan untuk tiap variabel suhu dengan berbagai variabel waktu mengalami penurunan %yield padat dan jika dibandingkan antara suhu 250,350,500°C dengan variabel suhu 10,30,60 menit menunjukkan profil yang sama yaitu mengalami penurunan %yield padat, tetapi untuk tiap %yield padat memiliki nilai yang berbeda untuk berbagai variabel suhu dan berbagai variabel waktu, dimana untuk pirolisis microwave %yield padat lebih baik pada variabel waktu terlama dan suhu tertinggi yaitu pada waktu 60 menit dan suhu 500°C dengan %yield cair sebesar 4,67%. Hal ini sesuai teori dimana semakin lama waktu pirolisis maka bahan baku yang terdegradasi semakin banyak juga dan terkonversi menjadi produk. (Kadirunhalu, Mei 2012).

Hasil produk padat dari plastik multilayer dari proses pirolisis menghasilkan senyawa aromatik, olefin dan senyawa lain serta logam aluminium (Al) yang tidak terurai karena memiliki titik lebur 720°C.

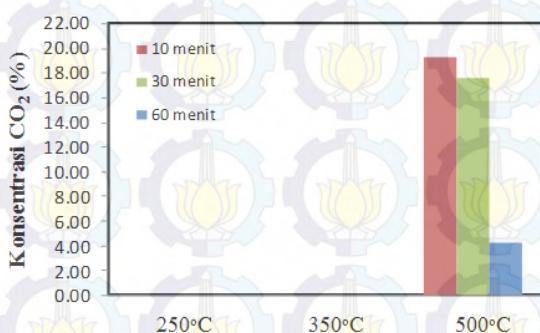
#### IV.5 Yield Produk Gas Hasil Pirolisis Microwave



**Gambar IV.8** %Konsentrasi gas CH<sub>4</sub> dengan berbagai variabel waktu dan suhu

Dapat dilihat pada gambar IV.8 menunjukkan besar %konsentrasi CH<sub>4</sub> untuk tiap suhu dengan berbagai variabel waktu, dimana untuk %konsentrasi CH<sub>4</sub> pada suhu 250°C dengan berbagai variabel suhu belum terbentuk, sedangkan pada suhu 350°C pada variabel waktu 60 menit %konsentrasi CH<sub>4</sub> mulai terbentuk, sedangkan pada suhu 500°C dengan berbagai variabel suhu %konsentrasi CH<sub>4</sub> mengalami kenaikan. Tiap %konsentrasi CH<sub>4</sub> memiliki nilai yang berbeda untuk berbagai variabel suhu dan berbagai variabel waktu, dimana untuk pirolisis microwave %konsentrasi CH<sub>4</sub> lebih baik pada variabel waktu terlama dan suhu tertinggi yaitu pada waktu 60 menit dan suhu 500°C dengan %konsentrasi CH<sub>4</sub> sebesar 30,41%, adapun ketidak sesuaian dengan teori dimana pada suhu 350°C dan waktu 10, 30 menit belum terbentuk %konsentrasi CH<sub>4</sub> hal ini disebabkan waktu proses terlalu singkat dan karbon aktif sebagai microwave absorber dalam reaktor microwave yang mengikat gas CH<sub>4</sub> yang terbentuk serta efisiensi pendingin yang kurang maksimal. Hal ini sesuai dengan teori bahwa gas yang dihasilkan pada proses pirolisis adalah hidrokarbon C<sub>1</sub>-C<sub>4</sub> dan CO<sub>x</sub> dimana pembentukannya terjadi pada temperatur 343-599°C. Peningkatan hasil produk dipengaruhi oleh waktu proses pirolisis dan temperature pirolisis (Piero Frediani,2014).

Pada pirolisis untuk fase evolusi gas pemecahan komponen organik cair untuk menghasilkan komponen yang stabil (gas, hidrokarbon rantai pendek) senyawa aromatik (senyawa bensen). Untuk fase gas  $\text{CH}_4$  terbentuk awal pada suhu  $350^\circ\text{C}$  dan konsentrasi  $\text{CH}_4$  semakin besar dengan bertambahnya temperatur.



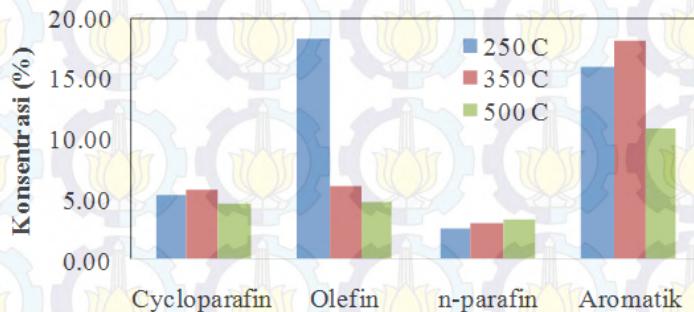
**Gambar IV.9 % Konsentrasi gas  $\text{CO}_2$  dengan berbagai variabel waktu dan suhu**

Dapat dilihat pada gambar IV.9 menunjukkan besar %konsentrasi  $\text{CO}_2$  untuk tiap suhu dengan berbagai variabel waktu. Pada waktu 250,  $350^\circ\text{C}$  dengan berbagai variabel waktu %konsentrasi  $\text{CO}_2$  belum terbentuk, dan untuk suhu  $500^\circ\text{C}$  dari waktu 10,30,60 menit mengalami penurunan %konsentrasi  $\text{CO}_2$ , adapun ketidak sesuaian dengan teori dimana pada suhu  $350^\circ\text{C}$  dengan berbagai variabel waktu belum terbentuk %konsentrasi  $\text{CO}_2$  dan suhu  $500^\circ\text{C}$  waktu 10,30,60 menit mengalami penurunan %konsentrasi  $\text{CO}_2$ , hal ini dikarenakan waktu proses terlalu singkat dan karbon aktif sebagai microwave absorber dalam reaktor microwave yang mengikat gas  $\text{CO}_2$  yang terbentuk serta efisiensi pendingin yang kurang maksimal. Dimana teori menjelaskan bahwa gas  $\text{CO}_x$  akan meningkat bedasarkan lama waktu proses (Andrea Undri,2014).

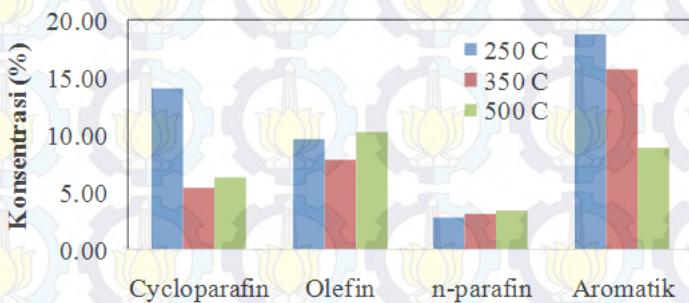
Pada pirolisis untuk fase evolusi gas pemecahan komponen organik cair untuk menghasilkan komponen yang stabil (gas, hidrokarbon rantai pendek) senyawa aromatik (senyawa bensen). Untuk fase gas  $\text{CO}_2$  terbentuk awal pada suhu  $500^\circ\text{C}$ .

#### IV.6 Perbandingan Senyawa Hidrokarbon Hasil Pirolisis Microwave dan Konvensional.

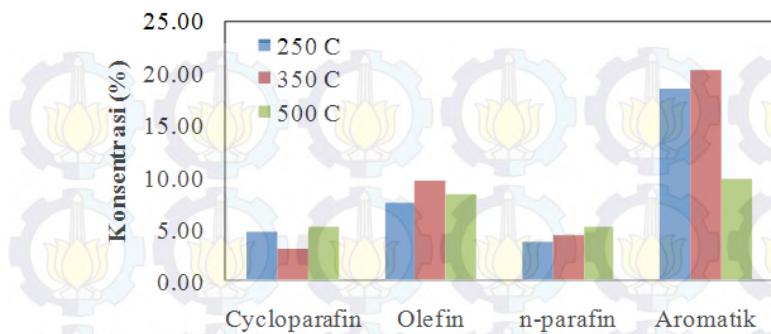
Pada percobaan ini produk utamanya adalah produk liquid karena molekul hidrokarbonnya sama dengan fraksi minyak bumi sehingga diharapkan bisa digunakan sebagai bahan bakar cair. Produk liquid hasil proses pirolisis dianalisa menggunakan *Gas Chromatography–Mass Spectrometry* (GC-MS).



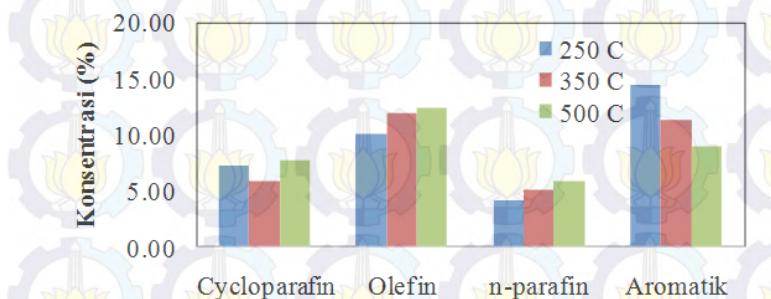
**Gambar IV.10** %Konsentrasi gugus hidrokarbon pada variabel waktu pirolisis konvensional 10 menit untuk berbagai variabel suhu.



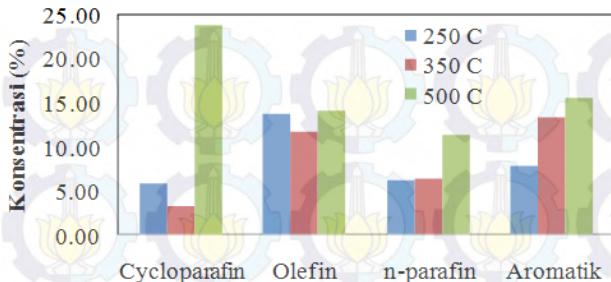
**Gambar IV.11** %Konsentrasi Gugus Hidrokarbon pada Variabel Waktu Pirolisis Microwave 10 Menit untuk Berbagai Variabel Suhu.



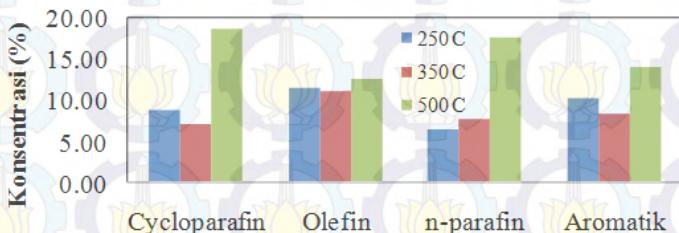
Gambar IV.12 %Konsentrasi gugus hidrokarbon pada variabel waktu pirolisis konvensional 30 menit untuk berbagai variabel suhu.



Gambar IV.13 %Konsentrasi gugus hidrokarbon pada variabel waktu pirolisis microwave 30 menit untuk berbagai variabel suhu.



**Gambar IV.14** %Konsentrasi gugus hidrokarbon pada variabel waktu pirolisis konvensional 60 menit untuk berbagai variabel suhu.



**Gambar IV.15** %Konsentrasi gugus hidrokarbon pada variabel waktu pirolisis microwave 60 menit untuk berbagai variabel suhu.

Dari gambar yang ditampilkan perbandingan senyawa hidrokarbon hasil pirolisis microwave dan konvensional diketahui bahwa pirolisis microwave lebih baik dibandingkan pirolisis konvensional ditinjau dari gugus aromatik dan n-parafin untuk waktu 10,30, dan 60 menit dengan berbagai variable suhu. Sedangkan kondisi operasi yang lebih baik pada pirolisis microwave adalah suhu 500°C dengan waktu 60 menit. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi temperatur operasi maka akan mempengaruhi dekomposisi dari Plastik multilayer.

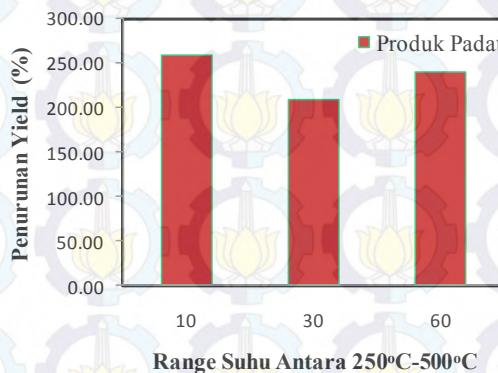
Kualitas bahan bakar tergantung dari struktur molekul dan kejemuhan ikatan hidrokarbon. Senyawa aromatis yang terlalu

tinggi dalam bahan bakar juga tidak diperbolehkan karena sifat senyawa aromatik yang mempunyai titik nyala yang rendah sehingga mempengaruhi besar tekanan yang bisa diberikan sebelum bahan bakar terbakar secara spontan selain itu senyawa aromatik yang bersifat *toxic* dan karsinogen sehingga dapat mencemari lingkungan dan berbahaya bagi kesehatan. Sedangkan gugus n-parafin mempunyai keunggulan yaitu kurang reaktif (susah bereaksi) tetapi dapat terbakar ketika mencapai titik bakarnya. N-parafin mempunyai *flash point* 73-160°C dan merupakan senyawa jenuh, sedangkan pengaruh senyawa olefin juga dibatasi karena sifat senyawa olefin yang tidak stabil sehingga dapat mempengaruhi kualitas dari bahan bakar dan untuk senyawa cycloparafin merupakan senyawa siklis yang jenuh dan tidak reaktif sehingga senyawa ini baik dalam kandungan bahan bakar karena mampu meningkatkan nilai oktan pada bahan bakar.

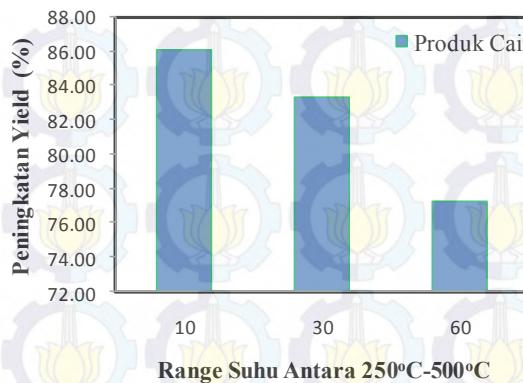
#### IV.7 % Peningkatan Yield Produk Padat dan Cair untuk Range Suhu 250°C-500°C dan Waktu Pirolisis Konvensional dan Microwave.



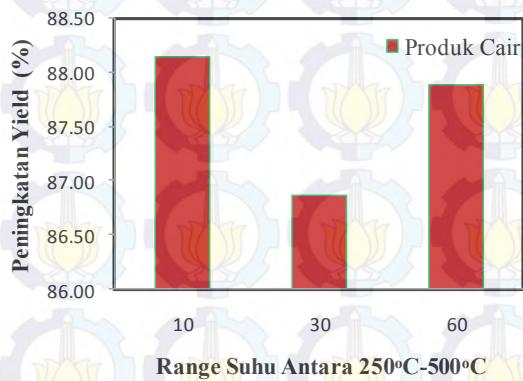
**Gambar IV.16** %Penurunan yield produk padat untuk range suhu 250°C-500°C dan waktu pirolisis konvensional.



**Gambar IV.17** %Penurunan yield produk padat untuk range suhu 250°C-500°C dan waktu pirolisis microwave.



**Gambar IV.18** %Peningkatan yield produk cair untuk range suhu 250°C-500°C dan waktu pirolisis konvensional.



**Gambar IV.19** %Peningkatan yield produk cair untuk range suhu 250°C-500°C dan waktu pirolisis microwave.

Dari gambar yang disajikan %penurunan yield produk padat, cair untuk range suhu 250-500°C. Untuk % penurunan yield

produk padat antara pirolisis konvensional dan microwave memiliki profil yang sama dimana mengalami penurunan %penurunan yield produk padat pada waktu 10 dan 60 menit tetapi mengalami kenaikan %penurunan yield produk padat pada waktu 30 menit untuk range suhu 250-500°C dan grafik yang lebih baik terdapat pada waktu 30 menit untuk range suhu 250-500°C pada pirolisis konvensional dengan nilai 101,27%.

Sedangkan untuk peningkatan %peningkatan yield produk cair antara pirolisis konvensional dan microwave untuk range suhu 250-500°C memiliki profil yang beda untuk waktu 60 menit pada pirolisis konvensional dan pirolisis microwave, grafik yang lebih baik terdapat pada waktu 60 menit untuk range suhu 250-500°C pada pirolisis konvensional dengan nilai 77,27%.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **V.1**

#### **Kesimpulan**

1. Proses pirolisis dapat digunakan untuk mengolah limbah plastik LDPE menjadi produk yang potensial sebagai bahan baku bahan bakar.
2. Proses pirolisis menggunakan microwave lebih baik karena dari distribusi temperatur merambat melalui dari inti bahan baku ke luar, sedangkan untuk pirolisis elektrik furnace prinsip untuk distribusi temperaturnya berkebalikan dari luar ke inti bahan baku.
3. Pirolisis yang lebih baik adalah pirolisis microwave ditinjau dari yield liquid, yield padat dan yield gas CH<sub>4</sub>.
4. Kondisi yang lebih baik pada penelitian ini yaitu pirolisis microwave dengan kondisi operasi 500°C 60 menit dengan yield padat 4,67%, yield cair 23,65%, dan yield CH<sub>4</sub> 30,41%.

#### **V.2**

#### **Saran**

Dilakukan proses lanjutan untuk pemurnian produk liquid hasil pirolisis dengan cara destilasi bertingkat dan cracking.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

- Angga. 2013. "Pembuatan Stirena dari Limbah Plastik dengan Metode Pirolisis." ITS Surabaya.
- Bilmeyer, P. and Carniti, P., 1971, Catalytic Degradation of Polymer: Part II – Degradation of Polyethylene, Polym. Deg. Stabil., 26, 209-220
- Keane. Catalytic transformation of waste polymers to fuel oil. ChemSusChem 2 (2009) 207-214.
- Khalimatus. 2013. "Pengaruh Waktu, Suhu dan Jumlah Katalis Zeolit Alam pada Produk Proses Pirolisis Limbah Plastik Polipropilen (PP)." ITS Surabaya.
- Lee, Henry. 2000. "*How Microwaves Work.*", Colorado University.
- Linarfad, Hidrokarbon. <http://linarfad.wordpress.com>. diakses pada tanggal 12 November 2012
- Ludlow, C. and Howard, C., 2001, Microwave-Induced Pyrolysis of Plastic Wastes, University of Cambridge., United Kingdom.
- Manos, G., Garforth, A., and Dwyer, J., 2000, Catalyst Degradation of High Density Polyethylene, University of Cambridge., United Kingdom.

Rodiansono, Wega Trisunaryanti dan Triyono, 2007, Preparation, Characterization and Activity Test of NiMo/Z and NiMo/Z-Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Catalysts for Hydrocracking of Waste Plastic Fraction to Gasoline Fraction, Berkala MIPA, 17 (2).

Scheirs, J. and Kaminsky, W., 2006, Feedstock Recycling and Pyrolysis of Waste Plastics : Converting Waste Plastics into Diesel and Other Fuels, John Willey and Son, Ltd., New York

Undri, A., Rosi, L., Frediani, M., and Frediani, P., 2014, Efficient Disposal of Waste Polyolefins through Microwave Assisted Pyrolysis, University of Florence., Firenze, Italy.

Undri, A., Rosi, L., Frediani, M., and Frediani, P., 2014, Fuel from Microwave Assisted Pyrolysis of Waste Multilayer Packaging Beverage, University of Florence., Firenze, Italy.

## APPENDIKS

### A.1 Yield Produk Liquid dan Solid Hasil Pirolisis Konvensional

$$\text{Densitas Sampel LDPE } (\rho) = \frac{\text{berat picno + isi (gr)} - \text{berat picno kosong (gr)}}{\text{volume picno (ml)}}$$
$$= \frac{19,80 \text{ gr} - 11,18 \text{ gr}}{10 \text{ ml}} = 0,86 \text{ gr/ml}$$

Berat sample = volume sample x densitas sample

Misal : pada variabel suhu 500 °C dan waktu 1 jam

didapatkan produk liquid sebanyak 11 ml (11 cm<sup>3</sup>)  
maka,

$$\text{Berat sample liquid} = 11 \text{ ml} \times 0,86 \text{ gr/ml} = 9,46 \text{ gr}$$

$$\text{Berat sample padat} = 5,7 \text{ gr}$$

$$\text{Bahan baku LDPE} = 60 \text{ gram}$$

$$\% \text{ yield cair} = \frac{\text{berat produk}}{\text{berat sampel awal}} \times 100\%$$

$$= \frac{9,46 \text{ gr}}{60 \text{ gr}} \times 100\% = 15,77\%$$

$$\% \text{ yield padat} = \frac{\text{berat produk}}{\text{berat sampel awal}} \times 100\%$$

$$= \frac{5,7 \text{ gr}}{60 \text{ gr}} \times 100\% = 9,50\%$$

Tabel A-1 % Yield Produk Liquid dan Solid Pirolisis Konvensional untuk Berbagai Variabel Waktu dan Suhu

No	Variabel		Produk					
	Suhu	Waktu	Padat	Cair	Cair	Yield	Yield	
	(°C)	(Menit)	(gr)	(ml)	(gr)	Padat (%)	Cair (%)	
1	500	60	5.7	11	9.46	9.50	15.77	
2	500	30	6.31	8.4	7.224	10.52	12.04	
3	500	10	6.46	7.2	6.192	10.77	10.32	
4	350	60	7.1	7	6.02	11.83	10.03	
5	350	30	7.31	4.2	3.612	12.18	6.02	
6	350	10	8.4	3	2.58	14.00	4.30	
7	250	60	12.25	2.5	2.15	20.42	3.58	
8	250	30	12.7	1.4	1.204	21.17	2.01	
9	250	10	19.4	1	0.86	32.33	1.43	

## A.2 Yield Produk Gas Hasil Pirolisis Konvensional

Area standart CO<sub>2</sub> = 3107442

Konsentrasi standart CO<sub>2</sub> = 99,42%

Area standart CH<sub>4</sub> = 1876077

Konsentrasi CH<sub>4</sub> = 97,27%

Misal : pada variabel suhu 500 °C dan waktu 1 jam

didapatkan produk gas CH<sub>4</sub> dengan luas area 593793

maka :

$$\% \text{ Konsentrasi gas} = \frac{\text{area sample senyawa}}{\text{area std senyawa}} \times \% \text{ konsentrasi std senyawa}$$

$$= \frac{593793}{1876077} \times 97,27\% = 30,78\%$$

Tabel A-2 % Konsentrasi Produk Gas Pirolisis Konvensional untuk Berbagai Variabel Waktu Variabel Suhu

No	Variabel		Produk			
	Suhu (°C)	Waktu (Menit)	Area Senyawa		Konsentrasi Senyawa (%)	
			CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>
1	500	60	473265.00	593793	15.14	30.78
2	500	30	140018.00	468359	4.48	24.28
3	500	10	299702.00	427400	9.59	22.16
4	350	60	565314.00	344909	18.09	17.88
5	350	30	80567.00	146884	2.58	7.61
6	350	10	115940.00	0.00	3.71	0.00
7	250	60	92903.00	0.00	2.97	0.00
8	250	30	41943.00	0.00	1.34	0.00
9	250	10	5122.00	0.00	0.16	0.00

### A.3 Yield Produk Liquid dan Solid Hasil Pirolisis Microwave

$$\text{Densitas Sampel LDPE } (\rho) = \frac{\text{berat picno + isi (gr)} - \text{berat picno kosong (gr)}}{\text{volume picno (ml)}} \\ = \frac{19,80 \text{ gr} - 11,18 \text{ gr}}{10 \text{ ml}} = 0,86 \text{ gr/ml}$$

Densitas sample = 0,86 gr/ml

Berat sample = volume sample (ml) x densitas sample (gr/ml)

Misal : pada variabel suhu 500 °C dan waktu 1 jam

didapatkan produk liquid sebanyak 16,5 ml  
(16,5 cm<sup>3</sup>) maka,

Berat sample liquid = 16,5 ml x 0,86 gr/ml = 14,19 gr

Berat sample padat = 2,8 gr

Bahan baku LDPE = 60 gram

$$\% \text{ yield cair} = \frac{\text{berat produk}}{\text{berat sample awal}} \times 100\%$$

$$= \frac{14,19 \text{ gr}}{60 \text{ gr}} \times 100\% = 23,65\%$$

$$\% \text{ yield padat} = \frac{\text{berat produk}}{\text{berat sample awal}} \times 100\%$$

$$= \frac{2,8 \text{ gr}}{60 \text{ gr}} \times 100\% = 4,67\%$$

Tabel A-3 % Yield Produk Liquid dan Solid Pirolisis Microwave untuk Berbagai Variabel Waktu dan Suhu

No	Variabel		Produk				
	Suhu (°C)	Waktu (Menit)	Padat (gr)	Cair (ml)	Cair (gr)	Yield Padat (%)	Yield Cair (%)
1	500	60	2.8	16.5	14.19	4.67	23.65
2	500	30	3.7	13.7	11.782	6.17	19.64
3	500	10	4.4	11.8	10.148	7.33	16.91
4	350	60	5.5	14	12.04	9.17	20.07
5	350	30	6	10.4	8.944	10.00	14.91
6	350	10	7.2	4.4	3.784	12.00	6.31
7	250	60	9.5	2	1.72	15.83	2.87
8	250	30	11.4	1.8	1.548	19.00	2.58
9	250	10	15.8	1.4	1.204	26.33	2.01

#### A.4 Yield Produk Gas Hasil Pirolisis Microwave

Area standart CO<sub>2</sub> = 3107442

Konsentrasi standart CO<sub>2</sub> = 99,42%

Area standart CH<sub>4</sub> = 187607

Konsentrasi CH<sub>4</sub> = 97,27%

Misal : pada variabel suhu 500 °C dan waktu 1 jam  
didapatkan produk gas CH<sub>4</sub> dengan luas area 593793  
maka :

$$\% \text{ Konsentrasi gas} = \frac{\text{area sample senyawa}}{\text{area std senyawa}} \times \text{konsentrasi std senyawa \%}$$

$$= \frac{586639}{1876077} \times 97,27\% = 30,41\%$$

Tabel A-4 % Konsentrasi Produk Gas Pirolisis Microwave untuk Berbagai Variabel Waktu Variabel Suhu

No	Variabel		Produk			
	Suhu (°C)	Waktu (Menit)	Area Senyawa		Konsentrasi Senyawa (%)	
			CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>
1	500	60	131151	586639	4.20	30.41
2	500	30	550014	569934	17.60	29.54
3	500	10	600731	486965	19.22	25.24
4	350	60	268548	23486	8.59	1.22
5	350	30	105711	0	3.38	0.00
6	350	10	428424	0	13.71	0.00
7	250	60	193698	21703	6.20	1.13
8	250	30	83946	0	2.69	0.00
9	250	10	72704	0	2.33	0.00

## IV.5 Hasil Analisa Produk Liquid dengan GC-MS

Tabel A.5 Kandungan Liquid pada Variabel 250°C -10 menit –  
Pirolisis Konvensional

Nama Senyawa	Kadar Hidrokarbon (%)			
	≤ C9	Keterangan	> C9	Keterangan
Cyclopropane	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	1.06	Cycloparaffin (4,40 %)	-
Cyclodecane	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub>	-		0.90
Cyclohexane	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	3.34		-
6-tridecene, 7-methyl	C <sub>14</sub> H <sub>28</sub>	-	Olefín (15,84 %)	1.46
2-Heptene, 4-methyl	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	1.02		-
2,4-Dimethyl-1-heptene	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub>	9.68		-
trans dimethyl-	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub>	-	Olefín (2,46 %)	1.00
2,2 heptene-3				-
1-hexene, 3,5,5-trimethyl	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub>	0.80		-
Tripropylene	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub>	0.54	n-parafin (0,0 %)	-
2-Pentene-3-methyl	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	1.71		-
2-Pentene-4-methyl	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	0.56		-
1-Pentene-2-methyl	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	1.53	n-parafin (2,63 %)	-
Nonane, 2,6-dimethyl	C <sub>11</sub> H <sub>24</sub>	-		2.63
Toluene	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	2.78		-
4-methyl-2-Pentyne	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub>	1.14		-

1,1-Biphenyl	C <sub>12</sub> H <sub>10</sub>	-	Aromatik (12,43 %)	1.22	Aromatik (3,52 %)
Naphthalene	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	-		1.77	
trans-3-methyl-cis-4methyl-cis-pinane	C <sub>14</sub> H <sub>28</sub>	-		0.53	
Benzene	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	4.39		-	
Xylene	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	2.16		-	
<b>Total</b>	<b>32,67</b>			<b>9,51</b>	
Unknown				<b>57.82</b>	
<b>Total</b>				<b>100.00</b>	

Tabel A.6 Kandungan Liquid pada Variabel 350°C -10 menit – Pirolisis Konvensional

Nama Senyawa	Kadar Hidrokarbon (%)			
	≤ C9	Keterangan	> C9	Keterangan
Cyclopentene	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub>	0.52	Cycloparaffin (5,10 %)	-
Cyclopropane	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	0.36		-
Cyclotetradecane	C <sub>14</sub> H <sub>28</sub>	-		0.68
Cyclohexane	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	4.22		-
2-Decene, 2,4-dimethyl	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub>	-	Olefin (3,38 %)	0.75
2-Heptene, 4-methyl	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	0.54		-
2,4-Dimethyl-1-heptene	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub>	2.48		-
cis-4-Decene	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub>	-		0.23
3-Heptene, 2,2,	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub>	-		0.21
				Olefin (2,67 %)

3,5,6-pentamethyl						
4-Nonene, 5-butyl	C <sub>13</sub> H <sub>26</sub>	-		0.12		
2-Dodecene	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub>	-		0.65		
6-Tridecene	C <sub>13</sub> H <sub>26</sub>	-		0.30		
5-Undecene	C <sub>11</sub> H <sub>22</sub>	-		0.41		
1-Heptene-2-methyl	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	0.36		-		
Heptane	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	0.63		-		
Heptane, 4-methyl	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	0.45		-		
Octane	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	0.63		-		
Tetradecane, 2, 6,10-trimethyl	C <sub>17</sub> H <sub>36</sub>	-	n-parafin (1,71 %)	0.15	n-parafin	
Tridecane, 4-methyl	C <sub>14</sub> H <sub>30</sub>	-		0.41		(1,38 %)
N-NONADECANE	C <sub>19</sub> H <sub>40</sub>	-		0.27		
Eicosane	C <sub>20</sub> H <sub>42</sub>	-		0.13		
Undecane	C <sub>11</sub> H <sub>24</sub>	-		0.42		
Toluene	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	1.05		-		
Fluorene	C <sub>13</sub> H <sub>10</sub>	-		0.34		
1,1-BIPHENYL	C <sub>12</sub> H <sub>10</sub>	-		2.13		
Azulene	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	-		0.95		
Naphthalene	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	-	Aromatik (11,49 %)	1.76	Aromatik	
Indene	C <sub>9</sub> H <sub>8</sub>	0.48		-		(6,55 %)
2,6-Octadiene, 2,4-dimethyl	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub>	-		1.37		
Cyclohexene	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub>	0.84		-		

ALPHA.-	C <sub>9</sub> H <sub>10</sub>	0.66	-	
METHYLSTYRENE				
Benzene	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	6.88	-	
Xylene	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	1.58	-	
<b>Total</b>		<b>21,68</b>	<b>11,28</b>	
Unknown			<b>67.04</b>	
<b>Total</b>			<b>100.00</b>	

Tabel A.7 Kandungan Liquid pada Variabel 500°C -10 menit – Pirolisis Konvensional

Nama Senyawa	Kadar Hidrokarbon (%)			
	≤ C9	Keterangan	> C9	Keterangan
Cyclohexane	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	3.19	Cycloparaffin (4,17 %)	-
Cyclopentane	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	0.98		-
Cyclotetacosane	C <sub>24</sub> H <sub>48</sub>	-		0.46
1-Hexene, 3, 3,5-trimethyl	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub>	0.43	Olefin (4,05 %)	-
2-Decene, 2,4-dimethyl	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub>	-		0.39
2-Heptene, 4-methyl	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	0.42		-
2,4-Dimethyl-1-heptene	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub>	3.03		-
4-Octene, 2, 3,6-trimethyl	C <sub>11</sub> H <sub>22</sub>	-		0.30
1-Heptene-2-methyl	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	0.17		-
Heptane, 2,4-	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	0.23		-

dimethyl				
Heptane, 4-methyl	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	0.53		-
Octane, 3,3-dimethyl	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	-		0.42
Pentadecane, 2,6,	C <sub>18</sub> H <sub>38</sub>	-	n-parafin (0,76 %)	0.31
10-trimethyl				
Heptadecane, 2, 6,10,14-tetramet	C <sub>21</sub> H <sub>44</sub>	-		0.24
Dodecane, 4,6-dimethyl	C <sub>14</sub> H <sub>30</sub>	-		1.13
Hexadecane	C <sub>16</sub> H <sub>34</sub>	-		0.16
Hexadecane, 3-methyl	C <sub>17</sub> H <sub>36</sub>	-		0.27
Toluene	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	1.92		-
1,1'-Biphenyl	C <sub>12</sub> H <sub>10</sub>	-		2.36
Fluorene	C <sub>13</sub> H <sub>10</sub>	-		0.40
Naphthalene	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	-	Aromatik (6.44%)	0.58
Indene	C <sub>9</sub> H <sub>8</sub>	0.50		-
Cyclohexene	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub>	0.29		-
Cyclopentene	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub>	0.31		-
1,7-Nonadiene, 4,8-dimethyl	C <sub>11</sub> H <sub>20</sub>	-		1.10
Benzene	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	1.84		-
Xylene	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	1.58		-
<b>Total</b>		<b>15,42</b>		<b>8,12</b>

Unknown	<b>76.46</b>
<b>Total</b>	<b>100.00</b>

Tabel A.8 Kandungan Liquid pada Variabel 250°C -30 menit – Pirolisis Konvensional

Nama Senyawa	Kadar Hidrokarbon (%)				
	≤ C9	Keterangan	> C9	Keterangan	
Cyclopropane	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	0.33	Cycloparaffin (4,72 %)	-	
Cyclohexane	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	3.41		-	
Cyclopentane	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	0.98		(0,0 %)	
2,4-dimethyl, 1-heptene	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	2.97	Olefin (4,15 %)	-	
1-Hexene, 3,	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub>	0.55		-	
3,5-trimethyl				-	
2-Decene, 2,4- dimethyl	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub>			0.50	
2-Heptene, 4- methyl	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	0.46		-	
1-Decene	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub>	-		0.21	
1-Undecene	C <sub>11</sub> H <sub>22</sub>	-		0.09	
1-Tetradecene	C <sub>14</sub> H <sub>28</sub>	-		0.65	
pentadecene	C <sub>15</sub> H <sub>30</sub>	-		-	
4-Nonene, 5- butyl	C <sub>13</sub> H <sub>26</sub>	-		-	
3-Eicosene	C <sub>20</sub> H <sub>40</sub>	-	Olefin (3,37 %)	1.20	
2-Dodecene, 2- methyl	C <sub>13</sub> H <sub>26</sub>	-		0.18	
4-Undecene	C <sub>11</sub> H <sub>22</sub>	-		0.28	

1-Heptene-2-methyl	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	0.17	-	
3-Hexene, 2, 2,5,5-tetramethyl	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub>	-	0.26	
Heptane, 2,4-dimethyl	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	0.27	-	
Heptane, 4-methyl	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	0.59	-	
Pentadecane, 2,	C <sub>18</sub> H <sub>38</sub>	-	0.36	n-parafin (0,86 %)
6,10-trimethyl				
2,3-Dimethyl-dodecane	C <sub>14</sub> H <sub>30</sub>	-	0.51	
Dodecane, 4,6-dimethyl-	C <sub>14</sub> H <sub>30</sub>	-	1.91	
Nonane, 4-methyl	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	-	0.18	
Fluorene	C <sub>13</sub> H <sub>10</sub>	-	0.52	
1,1-BIPHENYL	C <sub>12</sub> H <sub>10</sub>	-	2.82	
Naphthalene	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	-	1.53	
Indene	C <sub>9</sub> H <sub>8</sub>	0.72	-	
Cyclohexadiene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	-	0.18	
Cyclopentene	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub>	0.36	-	Aromatik (10,98 %)
Cyclohexene	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub>	0.71	-	Aromatik (7,24 %)
Cyclopentyl	C <sub>25</sub> H <sub>48</sub>	-	1.14	
1,7-Nonadiene, 4,8-dimethyl-	C <sub>11</sub> H <sub>20</sub>	-	0.81	
Methylindene	C <sub>10</sub> H <sub>10</sub>	-	0.24	

Benzene	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	9.19		-	
<b>Total</b>		<b>20.71</b>		<b>13.57</b>	
Unknown				<b>65.72</b>	
<b>Total</b>				<b>100.00</b>	

Tabel A.9 Kandungan Liquid pada Variabel 350°C -30 menit – Pirolisis Konvensional

Nama Senyawa	Kadar Hidrokarbon (%)			
	≤ C9	Keterangan	> C9	Keterangan
Cyclopentene	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub>	-	Cycloparaffin (2,39 %)	0.71
Cyclohexane	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	1.46		-
Cyclopentane	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	0.93		-
2-Heptene, 4-methyl	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	0.72	Olefin (3,97 %)	-
2,4-Dimethyl-1-heptene	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub>	3.25		-
2-Decene, 2,4-dimethyl	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub>	-		1.70
3-Decene, 2,2-dimethyl	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub>	-	Olefin (5,60 %)	0.26
1-Tetradecene	C <sub>14</sub> H <sub>28</sub>	-		0.74
3-Tetradecene	C <sub>14</sub> H <sub>28</sub>	-		0.73
1-pentadecene	C <sub>15</sub> H <sub>30</sub>	-		0.48
1-Dodecene	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub>	-		0.49
4-Octene, 2,6-dimethyl	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub>	-		0.43
5-Undecene	C <sub>11</sub> H <sub>22</sub>	-		0.44

Heptane	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	1.52	n-parafin (2,15 %)	-	n-parafin (2,26 %)
Heptane, 4-methyl	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	0.63		-	
Pentadecane	C <sub>15</sub> H <sub>32</sub>	-		0.55	
Eicosane	C <sub>20</sub> H <sub>42</sub>	-		0.41	
Undecane	C <sub>11</sub> H <sub>24</sub>	-		0.39	
Dodecane	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>	-		0.39	
Tetradecane, 2,6,	C <sub>17</sub> H <sub>36</sub>	-		0.14	
10-trimethyl				0.38	
Tetradecane	C <sub>14</sub> H <sub>30</sub>	-			
1,1-BIPHENYL	C <sub>12</sub> H <sub>10</sub>	-		2.32	
3-Hexyne	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub>	0.71		-	
Naphthalene	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	-	Aromatik (14,20 %)	3.67	Aromatik (5,99 %)
Indene	C <sub>9</sub> H <sub>8</sub>	0.55		-	
Cyclohexene	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub>	0.82		-	
Benzene	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	10.09		-	
Xylene	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	2.03		-	
<b>Total</b>		<b>22,71</b>		<b>14,56</b>	
Unknown				<b>62.73</b>	
<b>Total</b>				<b>100.00</b>	

Tabel A.10 Kandungan Liquid pada Variabel 500°C -30 menit –  
Pirolisis Konvensional

Nama Senyawa	Kadar Hidrokarbon (%)			
	≤ C9	Keterangan	> C9	Keterangan
Cyclopropane	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	0.28	Cycloparaffin (5,10 %)	-
Cyclohexane	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	4.33		-
Cyclopentane	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	0.49		-
Cyclotetacosane	C <sub>24</sub> H <sub>48</sub>	-		0.10
2,4-dimethyl, 1-heptene	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	4.06	Olefin (5,01 %)	-
2-Decene, 2,4-dimethyl	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub>	-		0.43
2-Heptene, 4-methyl	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	0.69		
1-Decene	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub>	-		0.19
3-Decene, 2,2-dimethyl	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub>	-		0.25
1-Octene, 3,3-dimethyl	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub>	-		0.34
4-Decene, 5-methyl	C <sub>11</sub> H <sub>22</sub>	-		0.25
5-Octadecene,	C <sub>18</sub> H <sub>36</sub>	-		0.20
1-Undecene	C <sub>11</sub> H <sub>22</sub>	-		0.25
1-Undecene, 7-methyl	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub>	-		0.47
1-Pentadecene	C <sub>15</sub> H <sub>30</sub>	-		0.45
3-Dodecene	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub>	-		0.22
5-Undecene	C <sub>11</sub> H <sub>22</sub>	-		0.15

1-Heptene-2-methyl	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	0.26	-	
3-Nonene, 3-methyl	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub>	-	0.18	
Heptane, 2,4-dimethyl	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	0.15	-	
Heptane, 4-methyl	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	0.81	-	
Heptane, 5-ethyl-2-methyl	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	-	0.65	
Decane, 5-propyl-	C <sub>13</sub> H <sub>28</sub>	-	0.25	
Octane, 2,3,6,7-tetramethyl	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>	-	0.71	
3-Octadecene	C <sub>18</sub> H <sub>36</sub>	-	0.21	
Undecane, 4,6-dimethyl	C <sub>13</sub> H <sub>28</sub>	-	n-parafin (0,96 %)	0.56
Heptadecane, 2,6,10,14-tetramethyl	C <sub>21</sub> H <sub>44</sub>	-	0.29	(4,21 %)
2,3-Dimethyl-dodecane	C <sub>14</sub> H <sub>30</sub>	-	0.51	
Nonane, 4-methyl	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	-	0.24	
Nonadecane	C <sub>19</sub> H <sub>40</sub>	-	0.22	
Hexadecane, 3-methyl	C <sub>17</sub> H <sub>36</sub>	-	0.36	
Hexadecane, 2,6,10,14-tetramethyl	C <sub>20</sub> H <sub>42</sub>	-	0.21	
Toluene	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	1.38	-	
1,1'-Biphenyl	C <sub>12</sub> H <sub>10</sub>	-	1.43	

2-Phenylnaphthalene	C <sub>16</sub> H <sub>12</sub>	-	Aromatik (5,22 %)	1.64	Aromatik (4,53 %)
Naphthalene	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	-		0.41	
Cyclohexene	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub>	0.18		-	
Cyclopentene	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub>	0.53		-	
1,7-Nonadiene, 4,8-dimethyl	C <sub>11</sub> H <sub>20</sub>	-		0.71	
Methylindene	C <sub>10</sub> H <sub>10</sub>	-		0.34	
Benzene	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	3.13		-	
<b>Total</b>		<b>16,29</b>		<b>12,22</b>	
Unknown				<b>71.49</b>	
<b>Total</b>				<b>100.00</b>	

Tabel A.11 Kandungan Liquid pada Variabel 250°C -60 menit – Pirolisis Konvensional

Nama Senyawa	Kadar Hidrokarbon (%)			
	≤ C9	Keterangan	> C9	Keterangan
Cyclohexane	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	4.85	Cycloparaffin (5,56 %)	-
Cyclopentane	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	0.71		-
1,1-dimethyl-2-propylcyclohexan	C <sub>11</sub> H <sub>22</sub>	-		0.20
2,4-dimethyl, 1-heptene	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	6.33		-
1-Hexene, 3,3-dimethyl	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	0.39		-
1-Hexene, 3,3,5-trimethyl	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub>	0.76		-

2-Decene, 2,4-dimethyl	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub>	-	1.19	
2-Heptene, 4-methyl	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	1.14	-	
3-Decene, 2,2-dimethyl	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub>	-	0.73	
4-Decene, 5-methyl	C <sub>11</sub> H <sub>22</sub>	-	Olefin (8,91 %)	Olefin (4,71 %)
1-Undecene, 7-methyl	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub>	-	0.50	
3-Hexene, 2,2,5,5-tetramethyl	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub>	-	1.09	
cis-1-Butyl-2-methylcyclopropane	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	0.29	-	
Eicosane, 3-cyclohexyl	C <sub>26</sub> H <sub>52</sub>	-	0.28	
2-Methyl-2-docosene	C <sub>23</sub> H <sub>46</sub>	-	0.60	
Heptane, 2,4-dimethyl	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	0.28	-	
Heptane, 4-methyl	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	1.69	-	
Heptane, 3,3,5-trimethyl	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	-	1.08	
Heptane, 5-ethyl-2-methyl	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	-	1.01	
2,3-Dimethyl-dodecane	C <sub>14</sub> H <sub>30</sub>	-	n-parafin (1,97 %)	n-parafin (4,24 %)
Dodecane, 4,6-dimethyl	C <sub>14</sub> H <sub>30</sub>	-	0.70	
Nonane, 4-methyl	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	-	0.43	
			0.22	

Nonane, 2-methyl-5-propyl	C <sub>13</sub> H <sub>28</sub>	-	0.25	
Nonane, 2,6-dimethyl	C <sub>11</sub> H <sub>24</sub>	-	0.22	
Hexadecane, 3-methyl	C <sub>17</sub> H <sub>36</sub>	-	0.33	
Toluene	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	1.75	-	
1,1-BIPHENYL	C <sub>12</sub> H <sub>10</sub>	-	0.30	
1,6-Octadiene, 2,5-dimethyl	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub>	-	0.23	
Cyclopentene	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub>	0.55	-	
Cyclohexene	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub>	0.16	Aromatik (5,94 %)	Aromatik
Cyclopentene	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub>	0.97	-	(1,90 %)
Cyclopentyl	C <sub>25</sub> H <sub>48</sub>	-	0.24	
1,7-Nonadiene, 4,8-dimethyl	C <sub>11</sub> H <sub>20</sub>	-	1.13	
1,4-Pentadiene, 2,3,4-trimethyl	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub>	0.31	-	
Benzene	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	2.20	-	
<b>Total</b>	<b>22,83</b>		<b>11,05</b>	
Unknown			<b>66.57</b>	
<b>Total</b>			<b>100.00</b>	

Tabel A.12 Kandungan Liquid pada Variabel 350°C -60 menit – Pirolisis Konvensional

Nama Senyawa	Kadar Hidrokarbon (%)			
	≤ C9	Keterangan	> C9	Keterangan
Cyclooctane	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	0.51	Cycloparaffin (3.07%)	-
Cyclohexane	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	1.38		-
Cyclopentane	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	1.18		-
1,1-dimethyl- 2-propylcyclohexan	C <sub>11</sub> H <sub>22</sub>	-		0.18
1-Nonadecene	C <sub>19</sub> H <sub>38</sub>	-	Olefin (5,34 %)	0.36
2-Decene, 2,4-dimethyl	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub>	-		1.06
2-Heptene, 4-methyl	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	0.71		-
2-Pentene, 3-ethyl-	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	0.11		-
2-methyl				
3-Hexene	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	0.34		-
2,4-Dimethyl-1-heptene	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub>	3.57		-
1-Decene	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub>	-		0.36
3-Decene, 2,2-dimethyl	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub>	-		0.27
4-Octene, 2,6-dimethyl	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub>	-		Olefin (6,36 %)
1-Octene, 3,3-dimethyl	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub>	-		0.19
4-Decene, 5-methyl-	C <sub>11</sub> H <sub>22</sub>	-		0.38
				0.28

1-Undecene	C <sub>11</sub> H <sub>22</sub>	-	0.37	
1-Undecene, 7-methyl	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub>	-	0.50	
3-Tetradecene	C <sub>14</sub> H <sub>28</sub>	-	0.16	
pentadecene	C <sub>15</sub> H <sub>30</sub>	-	0.56	
1-Heptadecene	C <sub>17</sub> H <sub>34</sub>	-	0.29	
2-Dodecene	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub>	-	0.33	
7-Hexadecene,	C <sub>16</sub> H <sub>32</sub>	-	0.29	
1-Hexadecene	C <sub>16</sub> H <sub>32</sub>	-	0.31	
1-Heptene-2-methyl	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	0.29	-	
1-Pentene, 2,3-dimethyl	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub>	0.32	-	
3-Hexene, 2,2, 5,5-tetramethyl	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub>	-	0.65	
Heptane, 2,4-dimethyl	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	0.19	-	
Heptane, 4-methyl	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	0.86	-	
Octane, 2,3,6, 7-tetramethyl	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>	-	0.70	
Pentadecane	C <sub>15</sub> H <sub>32</sub>	-	0.24	
Eicosane, 7-hexyl	C <sub>26</sub> H <sub>54</sub>	-	0.36	
Undecane, 4,6-dimethyl	C <sub>13</sub> H <sub>28</sub>	-	0.27	n-parafin
Heptadecane	C <sub>17</sub> H <sub>36</sub>	-	0.19	(1,05 %)
Heptadecane, 2,6, 10,14-tetramet	C <sub>21</sub> H <sub>44</sub>	-	0.31	n-parafin (5,41 %)

2,3-Dimethyl-dodecane	C <sub>14</sub> H <sub>30</sub>	-	0.80	
Dodecane, 4,6-dimethyl	C <sub>14</sub> H <sub>30</sub>	-	1.35	
3-Hexene, 2,2,	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub>	-	0.93	
5,5-tetramethyl				
Nonane, 4-methyl	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	-	0.26	
Toluene	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	1.38	-	
Dodecane, 1-cyclopentyl-4	C <sub>25</sub> H <sub>48</sub>	-	0.33	
1,1'-Biphenyl	C <sub>12</sub> H <sub>10</sub>	-	2.05	
2-Phenylnaphthalene	C <sub>16</sub> H <sub>12</sub>	-	1.78	
Azulene	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	-	0.74	Aromatik
Naphthalene	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	-	0.52	(6,13 %)
Cyclohexanone	C <sub>8</sub> H <sub>12</sub>	0.16	-	
Cyclohexene	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub>	0.83	-	
Cyclopentene	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub>	0.63	-	
1,7-Nonadiene, 4,8-dimethyl	C <sub>11</sub> H <sub>20</sub>	-	0.71	
Benzene	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	2.76	-	
Xylene	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	1.44	-	
<b>Total</b>		<b>16,66</b>	<b>18,08</b>	
Unknown			<b>65,26</b>	
<b>Total</b>			<b>100.00</b>	

Tabel A.13 Kandungan Liquid pada Variabel 500°C -60 menit –  
Pirolisis Konvensional

Nama Senyawa	Kadar Hidrokarbon (%)			
	≤ C9	Keterangan	> C9	Keterangan
Cyclopentene	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub>	0.62	Cycloparaffin (21,33 %)	-
Cyclopropane	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	0.47		-
Cyclotetacosane	C <sub>24</sub> H <sub>48</sub>	-		0.36
n-Nonylcyclohexane	C <sub>15</sub> H <sub>30</sub>	-		1.05
Dodecylcyclohexane	C <sub>18</sub> H <sub>36</sub>	-		1.06
cis-1-Butyl-2-methylcyclopropane	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	0.54		-
Cyclohexane	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	16.84		-
Cyclopentane	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	2.86		-
2-Heptene	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub>	1.25		-
1-Hexene	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	0.40		-
2-Hexene	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	0.21	Cycloparaffin (2,47 %)	-
3-Hexene	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	1.50		-
2,4-Dimethyl-1-heptene	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub>	4.23		-
1-Decene	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub>	-		0.35
2-Decene	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub>	-		0.94
3-Decene	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub>	-		0.31
4-Decene	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub>	-		0.29
1-Undecene	C <sub>11</sub> H <sub>22</sub>	-		0.79
3-Tetradecene	C <sub>14</sub> H <sub>28</sub>	-		0.30

pentadecene	C <sub>15</sub> H <sub>30</sub>	-	Olefín (8,21 %)	0.61	Olefín (5,80 %)
3-Eicosene	C <sub>20</sub> H <sub>40</sub>	-		0.80	
1-Heptadecene	C <sub>17</sub> H <sub>34</sub>	-		0.30	
1-Dodecene	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub>	-		0.29	
7-Hexadecene	C <sub>16</sub> H <sub>32</sub>	-		0.34	
1-Hexadecene	C <sub>16</sub> H <sub>32</sub>	-		0.30	
4-Undecene	C <sub>11</sub> H <sub>22</sub>	-		0.18	
1-Heptene	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub>	0.30		-	
1-Pentene	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	0.32		-	
Heptane	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	1.87		-	
Hexane	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	4.33		-	
Octane	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	0.82		-	
2,3-Dimethyldodecane	C <sub>14</sub> H <sub>30</sub>	-		0.93	
Pentadecane	C <sub>15</sub> H <sub>32</sub>	-	n-parafin (7,61 %)	0.27	n-parafin (3,68 %)
Eicosane	C <sub>20</sub> H <sub>42</sub>	-		0.49	
Octadecane	C <sub>18</sub> H <sub>38</sub>	-		0.16	
Undecane	C <sub>11</sub> H <sub>24</sub>	-		0.79	
Dodecene	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>	-		0.68	
6-Tridecene	C <sub>13</sub> H <sub>28</sub>	-		0.36	
Nonane	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	0.59		-	
Toluene	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	1.55		-	
1,1-Biphenyl	C <sub>12</sub> H <sub>10</sub>	-		2.28	

2-Phenylnaphthalene	C <sub>16</sub> H <sub>12</sub>	-	Aromatik (10,23 %)	1.45	Aromatik (5,21 %)
Naphthalene	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	-		1.48	
Indene	C <sub>9</sub> H <sub>8</sub>	0.22		-	
Cyclohexene	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub>	1.12		-	
Benzene	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	7.39		-	
Xylene	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	1.50		-	
<b>Total</b>	<b>47.38</b>			<b>17.16</b>	
Unknown				<b>35.46</b>	
<b>Total</b>				<b>100</b>	

Tabel A.14 Kandungan Liquid pada Variabel 250°C -10 menit – Pirolisis Microwave

Nama Senyawa	Kadar Hidrokarbon (%)			
	≤ C9	Keterangan	> C9	Keterangan
Cyclopentene	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub>	0.73	Cycloparaffin (13,60 %)	-
1H-Indene, 3-methyl	C <sub>10</sub> H <sub>10</sub>	-		0.45
Cyclohexene	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub>	0.75		-
Cyclohexane	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	11.33		-
Cyclopentane	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	0.35		-
4-Methyl-2-heptene	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	0.50		-
1-Heptene, 2-methyl	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	0.27		-
trans-4,4-Dimethyl-2-hexene	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	1.13		-

4-Octene, 2,6-dimethyl	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub>	-	Olefin (4,53 %)	0.35	Olefin (5,22 %)
2-Decene, 4-methyl	C <sub>11</sub> H <sub>22</sub>	-		1.77	
2-Pentene, 3-methyl	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	0.28		-	
4-Nonene	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub>	0.10		-	
2,4-Dimethyl-1-heptene	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub>	2.25		-	
3-Decene	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub>	-		1.00	
4-Decene	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub>	-		1.68	
5-Undecene	C <sub>11</sub> H <sub>22</sub>	-		0.42	
Heptane, 4-methyl	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	0.46		-	
Heptane, 5-ethyl-	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>	-	n-parafin (0,46 %)	0.68	n-parafin (2,48 %)
2,2,3-trimethyl					
Octane, 3,3-dimethyl	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	-		0.88	
Tetradecane	C <sub>14</sub> H <sub>30</sub>	-		0.12	
Tridecane	C <sub>13</sub> H <sub>28</sub>	-		0.34	
Octadecane	C <sub>18</sub> H <sub>38</sub>	-		0.12	
Undecane	C <sub>11</sub> H <sub>24</sub>	-		0.34	
1,1-Biphenyl	C <sub>12</sub> H <sub>10</sub>	-		0.71	
1,6-Octadiene,	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub>	-		0.51	
2,5-dimethyl-					

1,7-Nonadiene,	C <sub>11</sub> H <sub>20</sub>	-	Aromatik (13,16 %)	0.98	Aromatik (5,61 %)	
4,8-dimethyl						
Naphthalene	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	-		3.41		
Benzene	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	13.16				
<b>Total</b>	<b>31.75</b>			<b>13.76</b>		
Unknown				<b>54.82</b>		
<b>Total</b>				<b>100</b>		

Tabel A.15 Kandungan Liquid pada Variabel 350°C -10 menit – Pirolisis Microwave

Nama Senyawa	Kadar Hidrokarbon (%)			
	≤ C9	Keterangan	> C9	Keterangan
Cyclopentene	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub>	0.95	Cycloparaffin (5,52 %)	- 0%
Cyclopropane	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	0.43		
Cyclohexane	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	4.14		
2-Heptene	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub>	0.49		
2,4-Dimethyl-1-heptene	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub>	2.98		
2-Decene	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub>	-		1.45
4-Octene	C <sub>6</sub> H <sub>18</sub>	0.25		-
3-Decene	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub>	-		0.26
Undecene	C <sub>11</sub> H <sub>22</sub>	-		0.38
Tetradecene	C <sub>14</sub> H <sub>28</sub>	-	Olefin (4,03 %)	0.64
3-Dodecene	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub>	-		0.23
n-Nonylcyclohexane	C <sub>15</sub> H <sub>30</sub>	-		0.56

5-Undecene	C <sub>11</sub> H <sub>22</sub>	-		0.31	
1-Heptene	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub>	0.31		-	
Heptane	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	1.20		-	
Octane	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	0.67		-	
2,3-Dimethyldodecane	C <sub>14</sub> H <sub>30</sub>	-	n-parafin	0.37	n-parafin
N-EICOSANE	C <sub>20</sub> H <sub>42</sub>	-	(2,24 %)	0.28	(0,95 %)
Dodecene	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>	-		0.30	
Nonane	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	0.37		-	
Toluene	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	0.95		-	
methylnaphthalene	C <sub>11</sub> H <sub>10</sub>	-		0.46	
1,1-BIPHENYL	C <sub>12</sub> H <sub>10</sub>	-	Aromatik	1.53	Aromatik
1,7-Nonadiene	C <sub>11</sub> H <sub>20</sub>	-	(11,18 %)	1.03	(4,55 %)
Naphthalene	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	-		1.53	
Cyclohexene	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub>	0.85		-	
ALPHA.-METHYLSTYRENE	C <sub>9</sub> H <sub>10</sub>	0.39		-	
Benzene	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	7.41		-	
Xylene	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	1.58		-	
<b>Total</b>		<b>22,97</b>		<b>9,33</b>	
Unknown				<b>67.7</b>	
<b>Total</b>				<b>100.00</b>	

Tabel A.16 Kandungan Liquid pada Variabel 500°C -10 menit – Pirolisis Microwave

Nama Senyawa	Kadar Hidrokarbon (%)			
	≤ C9	Keterangan	> C9	Keterangan
Cyclopentene	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub>	0.60	Cycloparaffin (6,33 %)	-
Cyclohexane	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	5.24		-
Cyclopentane	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	0.49		-
2,4-Dimethyl-1-heptene	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub>	2.71		-
4-Dimethyl-2-heptene	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	0.54		-
1-Heptene, 2-methyl	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	0.37		-
6-Tridecene, 7-methyl	C <sub>14</sub> H <sub>28</sub>	-	Olefin (4,42 %)	0.42
2-Dodecene	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub>	-		0.90
8-Heptadecene	C <sub>17</sub> H <sub>34</sub>	-		0.22
2-Decene	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub>	-		1.99
2-Decene, 2,4-dimethyl	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub>	0.80		-
3-Decene	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub>	-		0.27
5-Decene	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub>	-		0.25
1-pentadecene	C <sub>15</sub> H <sub>30</sub>	-		0.54
Heptadecene	C <sub>17</sub> H <sub>34</sub>	-		0.36
5-Undecene	C <sub>11</sub> H <sub>22</sub>	-		0.22
2-Undecene	C <sub>11</sub> H <sub>22</sub>	-		0.71

Heptane	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	0.64		
Heptane, 4-methyl	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	0.53		
Heptane, 2,4-dimethyl	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	0.24		
Octane	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	0.72		
Pentadecane	C <sub>15</sub> H <sub>32</sub>	-	n-parafin (2,45 %)	n-parafin (1,03 %)
Hexadecane	C <sub>16</sub> H <sub>34</sub>	-		
Nonadecane	C <sub>19</sub> H <sub>40</sub>	-		
Nonane	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	0.32		
Toluene	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	0.97		
Phenil	C <sub>10</sub> H <sub>12</sub>	-		
Cyclo propane				
1,7-Nonadiene, 4,8-dimethyl	C <sub>11</sub> H <sub>20</sub>	-	Aromatik (5,43 %)	Aromatik (3,56 %)
1,1-BIPHENYL	C <sub>12</sub> H <sub>10</sub>	-		
Naphthalene	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	-		
Cyclohexene	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub>	0.99		
Benzene	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	3.47		
<b>Total</b>		<b>18,63</b>		<b>10,47</b>
Unknown				<b>70,9</b>
<b>Total</b>				<b>100,00</b>

Tabel A.17 Kandungan Liquid pada Variabel 250°C -30 menit – Pirolisis Microwave

Nama Senyawa		Kadar Hidrokarbon (%)				
		≤ C9	Keterangan	> C9	Keterangan	
Cyclopentene	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub>	0.64	Cycloparaffin (6,31 %)	-	Cycloparaffin (1,04 %)	
1,1-dimethyl-	C <sub>11</sub> H <sub>22</sub>	-		0.22		
2-propylcyclohexan				-		
Cyclododecane	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub>	-		0.46		
Cyclotetradecane	C <sub>14</sub> H <sub>28</sub>	-		0.36		
Cyclohexane	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	4.35		-		
Cyclopentane	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	1.32		-		
2-Decene, 2,4-dimethyl	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub>	-		0.76	Olefin (2,64 %)	
2-Heptene, 4-methyl	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	0.62		-		
2,4-Dimethyl-1-heptene	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub>	2.02		-		
2-Decene, 4-methyl	C <sub>11</sub> H <sub>22</sub>	-		1.97		
3-Decene	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub>	-		0.28		
4-Decene	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub>	-		0.42		
Undecene	C <sub>11</sub> H <sub>22</sub>	-		0.67	Olefin (7,44 %)	
pentadecene	C <sub>15</sub> H <sub>30</sub>	-		0.66		
1-Octadecene	C <sub>18</sub> H <sub>36</sub>	-		0.90		
1-Heptadecene	C <sub>17</sub> H <sub>34</sub>	-		0.53		
2-Dodecene, 2-methyl	C <sub>13</sub> H <sub>26</sub>	-		0.08		

9-Tricosene	C <sub>23</sub> H <sub>46</sub>	-		1.17	
Heptane, 4-methyl	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	0.52		-	
Octane, 2,3,6 ,7-tetramethyl	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>	-		0.60	
Octane, 3,3-dimethyl	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	-		0.66	
Hexadecane	C <sub>16</sub> H <sub>34</sub>	-		0.36	
2,3-Dimethyldodecane	C <sub>14</sub> H <sub>30</sub>	-		0.37	
Pentadecane	C <sub>15</sub> H <sub>32</sub>	-	n-parafin (0,52 %)	0.27	n-parafin (3,63 %)
Tetrapentakaontane	C <sub>54</sub> H <sub>110</sub>	-		0.15	
NONADECANE	C <sub>19</sub> H <sub>40</sub>	-		0.59	
Heptadecane, 3-methyl	C <sub>18</sub> H <sub>36</sub>	-		0.40	
Heptadecane	C <sub>17</sub> H <sub>36</sub>	-		0.23	
Toluene	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	1.58		-	
1,1-Biphenyl	C <sub>12</sub> H <sub>10</sub>	-		0.48	
1,7-Nonadiene	C <sub>11</sub> H <sub>20</sub>	-		0.92	
Naphthalene	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	-	Aromatik (9,37 %)	3.61	Aromatik (5,01 %)
Indene	C <sub>9</sub> H <sub>8</sub>	0.48		-	
Cyclohexene	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub>	1.46		-	
Benzene	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	4.35		-	
Xylene	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	1.50		-	
<b>Total</b>		<b>18,84</b>		<b>17,12</b>	
Unknown				<b>64.04</b>	
<b>Total</b>				<b>100.00</b>	

Tabel A.18 Kandungan Liquid pada Variabel 350°C -30 menit – Pirolisis Microwave

Nama Senyawa	Kadar Hidrokarbon (%)			
	$\leq C9$	Keterangan	$> C9$	Keterangan
Cyclopentene	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub>	0.50	Cycloparaffin (4,92 %)	-
Cyclopropane	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	0.32		-
n-Nonylcyclohexane	C <sub>15</sub> H <sub>30</sub>	-		0.91
Cyclooctane	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	0.19		-
Cyclohexane	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	3.28		-
Cyclopentane	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	0.63		-
3-Ethyl-4-methyl-2-pentene	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	0.14	Olefin (5,27 %)	-
2-Decene, 2,4-dimethyl	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub>	-		1.09
2-Heptene, 4-methyl	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	0.62		-
1-Hexene, 3,3,5-trimethyl	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub>	0.39		-
2,4-Dimethyl-1-heptene	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub>	3.55		-
1-Decene	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub>	-		0.20
3-Decene	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub>	-		0.27
4-Octene, 2,3,6-trimethyl	C <sub>11</sub> H <sub>22</sub>	-		0.54
4-Decene	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub>	-		0.54
4-Decene-5-methyl	C <sub>11</sub> H <sub>22</sub>	-		0.30
1,1-dimethyl-	C <sub>11</sub> H <sub>22</sub>	-		0.20
				Olefin (6,70 %)

2-propylcyclohexan				
1-Undecene	C <sub>11</sub> H <sub>22</sub>	-		0.28
4-Nonene, 5-butyl	C <sub>13</sub> H <sub>26</sub>	-		0.53
7-Tetradecene	C <sub>14</sub> H <sub>28</sub>	-		0.72
1-Octene, 3,3-dimethyl	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub>	-		0.40
3-Hexene, 2,2,5,5-tetramethyl	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub>	-		1.00
2-Dodecene	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub>	-		0.24
7-Hexadecene	C <sub>16</sub> H <sub>32</sub>	-		0.19
1-Nonadecene	C <sub>19</sub> H <sub>38</sub>	-		0.20
1-Pentene, 2-methyl	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	0.25		-
1-Heptene-2-methyl	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	0.32		-
Heptane, 4-methyl	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	0.77		-
Hexane, 3,3-dimethyl	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	0.32		-
Heptane, 5-ethyl-2-methyl	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	-		0.77
Heptadecane, 2,6-dimethyl	C <sub>19</sub> H <sub>40</sub>	-		0.28
Tetradecane, 2,6,10-trimethyl	C <sub>17</sub> H <sub>36</sub>	-	n-parafin (1,26 %)	0.22
Dodecane, 4,6-dimethyl	C <sub>14</sub> H <sub>30</sub>	-		1.45
Pentadecane	C <sub>15</sub> H <sub>32</sub>	-		0.26

Octadecane	C <sub>18</sub> H <sub>38</sub>	-	0.18	
Heptane, 2,4-dimethyl	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	0.17	-	
Nonane, 4-methyl	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	-	0.27	
Undecane, 3,8-dimethyl	C <sub>13</sub> H <sub>28</sub>	-	0.36	
Toluene	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	1.11	-	
1,1-Biphenyl	C <sub>12</sub> H <sub>10</sub>	-	2.03	
2-Methylindene	C <sub>10</sub> H <sub>10</sub>	-	0.37	
1,7-Nonadiene, 4,8-dimethyl	C <sub>11</sub> H <sub>20</sub>	-	Aromatik (5,16 %)	0.82
Naphthalene	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	-		2.99
Cyclohexene	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub>	0.83		-
Ethylbenzene	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	0.40		-
Benzene	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	1.57		-
Xylene	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	1.25		-
<b>Total</b>	<b>16,61</b>		<b>17,61</b>	
Unknown			<b>65.78</b>	
<b>Total</b>			<b>100</b>	

Tabel A.19 Kandungan Liquid pada Variabel 500°C -30 menit – Pirolisis Microwave

Nama Senyawa	Kadar Hidrokarbon (%)			
	$\leq C9$	Keterangan	$> C9$	Keterangan
n-Nonylcyclohexane	C <sub>15</sub> H <sub>30</sub>		1.05	
Cyclohexane	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	5.66	-	Cycloparaffin
Cyclopentane	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	0.83	-	(1,23 %)
1,1-dimethyl-				
2-propylcyclohexan	C <sub>11</sub> H <sub>22</sub>	-	0.18	
1-Dodecene	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub>	-	0.29	
2,4-dimethyl, 1-heptene	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	4.23	-	
1-Hexene, 3,3-dimethyl	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	0.40	-	
2-Decene, 2,4-dimethyl	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub>	-	0.31	
2-Decene, 2,4-dimethyl	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub>	-	0.94	
2-Heptene, 4-methyl	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	0.84	-	
3-Hexene	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	0.39	-	
1-Decene	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub>	-	0.35	
4-Decene, 5-methyl	C <sub>11</sub> H <sub>22</sub>	-	0.29	
1-Undecene	C <sub>11</sub> H <sub>22</sub>	-	0.25	Olefīn
1-Undecene, 7-methyl	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub>	-	0.54	(5,68 %)
pentadecene	C <sub>15</sub> H <sub>30</sub>	-	0.61	

3-Eicosene	C <sub>20</sub> H <sub>40</sub>	-	0.80	
1-Heptadecene	C <sub>17</sub> H <sub>34</sub>	-	0.30	
6-Tridecene, 7-methyl	C <sub>14</sub> H <sub>28</sub>	-	0.36	
7-Hexadecene,	C <sub>16</sub> H <sub>32</sub>	-	0.34	
1-Hexadecene	C <sub>16</sub> H <sub>32</sub>	-	0.30	
1-Heptene-2-methyl	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	0.3	-	
1-Pentene, 2,3-dimethyl	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub>	0.32	-	
2-Hexene, 2,3-dimethyl	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	0.21	-	
Heptane, 2,4-dimethyl	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	0.19	-	
Heptane, 4-methyl	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	0.94	-	
Heptane, 3,3,5-trimethyl	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	-	0.74	
Octane, 2,3,6,7-tetramethyl	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>	-	0.82	
Pentadecane	C <sub>15</sub> H <sub>32</sub>	-	n-parafin	0.27
Undecane, 4,6-dimethyl-	C <sub>13</sub> H <sub>28</sub>	-	(1,13 %)	0.36
Undecane, 3,8-dimethyl-	C <sub>13</sub> H <sub>28</sub>	-		0.43
2,3-Dimethyl-dodecane	C <sub>14</sub> H <sub>30</sub>	-		0.93
Dodecane, 4,6-dimethyl-	C <sub>14</sub> H <sub>30</sub>	-		0.68
Nonane, 4-methyl	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	-		0.28

Nonane, 2-methyl- 5-propyl	C <sub>13</sub> H <sub>28</sub>	-	0.31	
Toluene	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	0.33	-	
1,1'-Biphenyl	C <sub>12</sub> H <sub>10</sub>	-	2.28	
2- Phenylnaphthalene	C <sub>16</sub> H <sub>12</sub>	-	1.76	
Naphthalene	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	-	Aromatik (7,82 %)	Aromatik (6,69 %)
Indene	C <sub>9</sub> H <sub>8</sub>	0.22	-	
Cyclohexene	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub>	0.27	-	
Cyclopentene	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub>	0.62	-	
1,7-Nonadiene, 4,8-dimethyl	C <sub>11</sub> H <sub>20</sub>	-	1.05	
Benzene	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	0.70	-	
Xylene	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	0.20	-	
<b>Total</b>	<b>16,62</b>		<b>18,42</b>	
Unknown			<b>64.96</b>	
<b>Total</b>			<b>100.00</b>	

Tabel A.20 Kandungan Liquid pada Variabel 250°C -60 menit – Pirolisis Microwave

Nama Senyawa	Kadar Hidrokarbon (%)			
	$\leq C9$	Keterangan	$> C9$	Keterangan
Cyclopentene	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub>	0.68	Cycloparaffin (7,33 %)	-
Cyclopropane	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	0.31		-
1,2,4,4-Tetramethyl	C <sub>9</sub> H <sub>16</sub>	0.61		-
Cyclotetracosane	C <sub>24</sub> H <sub>48</sub>	0.25		-
n-Nonylcyclohexane	C <sub>15</sub> H <sub>30</sub>	-		0.99
Cyclododecane	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub>	-		0.43
Cyclohexane	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	4.12		-
Cyclopentane	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	1.36		-
2-Decene, 2,4-dimethyl	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub>	-		1.12
4-Octene, 2,3,6-trimethyl	C <sub>11</sub> H <sub>22</sub>	-		0.40
2-Heptene, 4-methyl	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	0.88	Olefin (6,76 %)	-
1-Hexene, 3,3,5-trimethyl	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub>	0.48		-
2,4-Dimethyl-1-heptene	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub>	4.69		-
1-Decene	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub>	-		0.20
3-Decene	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub>	-		0.31
4-Decene-5-methyl	C <sub>11</sub> H <sub>22</sub>	-	Olefin (4,75 %)	0.31
1,1-dimethyl-2-	C <sub>11</sub> H <sub>22</sub>	-		0.19

propylcyclohexan						
3-Nonene, 3-methyl	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub>	-			0.19	
3-Tetradecene	C <sub>14</sub> H <sub>28</sub>	-			0.27	
3-Hexene, 2,2, 5,5-tetramethyl	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub>	-			1.55	
1-Nonadecene	C <sub>19</sub> H <sub>38</sub>	-			0.21	
1-Pentene, 2-methyl	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	0.36			-	
1-Heptene-2-methyl	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	0.35			-	
Heptane, 4-methyl	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	1.11			-	
Octane, 2,3, 6,7-tetramethyl	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>	-			0.88	
Heptane, 5-ethyl-2-methyl	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	-			0.81	
2,3-Dimethyldodecane	C <sub>14</sub> H <sub>30</sub>	-			0.60	
Heptadecane, 2,6, 10,15-tetramet	C <sub>21</sub> H <sub>44</sub>	-		n-parafin (1,30 %)	0.43	n-parafin (5,10 %)
Heptacosane	C <sub>27</sub> H <sub>56</sub>	-			0.50	
Tridecane, 4-methyl	C <sub>14</sub> H <sub>30</sub>	-			0.68	
Dodecane, 4,6-dimethyl	C <sub>14</sub> H <sub>30</sub>	-			0.35	
Nonane, 3-methyl-5-propyl	C <sub>13</sub> H <sub>28</sub>	-			0.30	
N-NONADECANE	C <sub>19</sub> H <sub>40</sub>	-			0.28	

Heptane, 2,4-dimethyl	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	0.19		-	
Nonane, 4-methyl	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	-		0.27	
Toluene	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	1.62		-	
1,1-Biphenyl	C <sub>12</sub> H <sub>10</sub>	-		1.14	
1,1-BIPHENYL	C <sub>12</sub> H <sub>10</sub>	-		0.37	
1,7-Nonadiene, 4,8-dimethyl	C <sub>11</sub> H <sub>20</sub>	-	Aromatik (5,4 %)	1.20	Aromatik (4,86 %)
Naphthalene	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	-		2.15	
Benzene	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	3.35		-	
Xylene	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	0.43		-	
<b>Total</b>		<b>20,79</b>		<b>16, 13</b>	
Unknown				<b>63.08</b>	
<b>Total</b>				<b>100</b>	

Tabel A.21 Kandungan Liquid pada Variabel 350°C -60 menit – Pirolisis Microwave

Nama Senyawa	Kadar Hidrokarbon (%)			
	$\leq C9$	Keterangan	$> C9$	Keterangan
Cyclopentene	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub>	0.97	Cycloparaffin (7,02 %)	-
cis-1-Butyl-2-methylcyclopropane	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	0.29		-
Cyclohexane	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	4.85		-
Cyclopentane	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	0.91		-
2-Decene, 2,4-dimethyl	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub>	-	Olefín (8,00 %)	1.19
1-Hexene, 3,3,5-trimethyl	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub>	0.76		-
2,4-Dimethyl-1-heptene	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub>	6.33		-
1-Hexene, 3,3-dimethyl	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	0.39		-
3-Decene	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub>	-	Olefín (2,94 %)	0.73
4-Decene-5-methyl	C <sub>11</sub> H <sub>22</sub>	-		0.32
1,1-dimethyl-2-propylcyclohexan	C <sub>11</sub> H <sub>22</sub>	-		0.20
1-Undecene, 7-methyl	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub>	-		0.50
1-Heptene-2-methyl	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	0.52		-
Heptane, 4-methyl	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	1.69		-
Heptane, 5-ethyl-2-methyl	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	-		1.08
Heptane, 5-	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	-		1.01

ethyl-2-methyl				
Octane	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	-		
2,3-Dimethyldodecane	C <sub>14</sub> H <sub>30</sub>	-	n-parafin (3,11 %)	0.70
Dodecane, 4,6-dimethyl	C <sub>14</sub> H <sub>30</sub>	-		0.43
Nonane, 2-methyl-5-propyl	C <sub>13</sub> H <sub>28</sub>	-		0.25
Eicosane	C <sub>20</sub> H <sub>42</sub>	-		0.28
Heptane, 4-methylene	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	1.14		-
Heptane, 2,4-dimethyl	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	0.28		-
Nonane, 4-methyl	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	-		0.22
Hexadecane, 3-methyl	C <sub>17</sub> H <sub>36</sub>	-		0.33
Nonane, 2,6-dimethyl	C <sub>11</sub> H <sub>24</sub>	-		0.22
Toluene	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	1.75		-
1,1-Biphenyl	C <sub>12</sub> H <sub>10</sub>	-		1.69
1,6-Octadiene, 2,5-dimethyl	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub>	-		0.23
Dodecane, 1-cyclopentyl	C <sub>25</sub> H <sub>48</sub>	-		0.24
6,6-Dimethylhepta- 2,4-diene	C <sub>9</sub> H <sub>16</sub>	0.55	Aromatik (4,97 %)	-
1,7-Nonadiene, 4,8-dimethyl	C <sub>11</sub> H <sub>20</sub>	-		1.13
1,4-Pentadiene,	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub>	0.31		-

2,3,4-trimethyl						
Cyclohexene	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub>	0.16		-		
Ethylbenzene	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	0.30		-		
Benzene	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	1.90		-		
<b>Total</b>	<b>23,10</b>			<b>10,75</b>		
Unknown				<b>66.15</b>		
<b>Total</b>				<b>100</b>		

Tabel A.22 Kandungan Liquid pada Variabel 500°C -60 menit – Pirolisis Microwave

Nama Senyawa	Kadar Hidrokarbon (%)			
	≤ C9	Keterangan	> C9	Keterangan
Cyclopentene	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub>	0.66	Cycloparaffin (17,99 %)	-
Dodecylcyclohexane	C <sub>18</sub> H <sub>36</sub>	-		0.58
Cyclohexane	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	14.27		-
Cyclohexene	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub>	0.92		-
Cyclopentane	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	2.14		-
4-Methyl-2-heptene	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	0.67	Olefin (4,42 %)	-
3-Heptene	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub>	0.34		-
2,4-Dimethyl-1-heptene	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub>	2.86		-
trans-1-Butyl- 2-methylcyclopropane	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	0.55		-
3-Nonene, 2-methyl	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub>	-		0.16
1,1-dimethyl- 2-propylcyclohexan	C <sub>11</sub> H <sub>22</sub>	-		Olefin (8,06 %)

1-Pentadecene	C <sub>15</sub> H <sub>30</sub>	-	0.43	
n-Nonylcyclohexane	C <sub>15</sub> H <sub>30</sub>	-	0.49	
Undecane	C <sub>11</sub> H <sub>24</sub>	-	0.37	
2-Decene, 2,4-dimethyl	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub>	-	1.53	
3-Decene, 2,2-dimethyl	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub>	-	0.24	
Cyclotriaccontane	C <sub>30</sub> H <sub>60</sub>	-	1.14	
6-Tridecene, 7-methyl	C <sub>14</sub> H <sub>28</sub>	-	0.43	
3-Dodecene	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub>	-	0.30	
3-Eicosene	C <sub>20</sub> H <sub>40</sub>	-	0.68	
4-Decene, 5-methyl	C <sub>11</sub> H <sub>22</sub>	-	1.89	
Heptane, 4-methyl	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	0.56	-	
Nonane, 4-methyl	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	-	0.38	
Eicosane	C <sub>20</sub> H <sub>42</sub>	-	1.40	
Heptane, 5-ethyl-2-methyl	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	-	0.67	n-parafin
Hexadecane	C <sub>16</sub> H <sub>34</sub>	-	11.09	(2,52 %)
Pentadecane	C <sub>15</sub> H <sub>32</sub>	-	0.15	
Tetradecane	C <sub>14</sub> H <sub>30</sub>	-	0.14	
Octane, 3,3-dimethyl	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	-	1.06	
Hexane, 2,3,4-trimethyl	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	1.96	-	
Benzene	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	4.95	-	
p-Xylene	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	1.79	-	

1,7-Nonadiene, 4,8-dimethyl	C <sub>11</sub> H <sub>20</sub>	-	Aromatik (6,74 %)	1.04	Aromatik (7,26 %)
1H-Indene, 3-methyl	C <sub>10</sub> H <sub>10</sub>	-		0.50	
1,1-BIPHENYL	C <sub>12</sub> H <sub>10</sub>	-		2.22	
2-Phenylnaphthalene	C <sub>16</sub> H <sub>12</sub>	-		0.59	
2-Methylindene	C <sub>10</sub> H <sub>10</sub>	-		0.44	
Naphthalene	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	-		2.47	
<b>Total</b>	<b>31.67</b>			<b>30.79</b>	
Unknown				<b>37.46</b>	
<b>Total</b>				<b>100</b>	

#### IV.6 Tabel Perhitungan GC-MS (konversi % area menjadi volume (ml))

Tabel A.23 Kandungan Gugus Hidrokarbon untuk waktu 10 menit dan berbagai variabel suhu pirolisis konvensional.

Gugus Hidrokarbon	Kadar (%) Bedasarkan					
	Variabel Suhu					
	250°C		350°C		500°C	
	≤C9	>C9	≤C9	>C9	≤C9	>C9
Cycloparafin	4.40	0.90	5.10	0.68	4.17	0.46
Olefin	15.84	2.46	3.38	2.67	4.05	0.69
n-parafin	0.00	2.63	1.71	1.38	0.76	2.53
Aromatik	12.43	3.52	11.49	6.59	6.44	4.44

Tabel A.24 Volume Gugus Hidrokarbon untuk waktu 10 menit dan berbagai variabel suhu pirolisis konvensional.

Gugus Hidrokarbon	Volume Produk Liquid (ml)		
	250 C	350 C	500 C
Cycloparafin	0.05	0.17	0.39
Olefin	0.18	0.18	0.40
n-parafin	0.03	0.09	0.28
Aromatik	0.16	0.54	0.91

Tabel A.25 Kandungan Gugus Hidrokarbon untuk waktu 10 menit dan berbagai variabel suhu pirolisis microwave.

Gugus Hidrokarbon	Kadar (%) Bedasarkan Variabel Suhu					
	250°C		350°C		500°C	
	≤C9	>C9	≤C9	>C9	≤C9	>C9
	≤C9	>C9	≤C9	>C9	≤C9	>C9
Cycloparafin	13.60	0.45	5.52	0.00	6.33	0.00
Olefin	4.53	5.22	4.03	3.83	4.42	5.88
n-parafin	0.46	2.48	2.24	0.95	2.45	1.03
Aromatik	13.16	5.61	11.18	4.55	5.43	3.56

Tabel A.26 Volume Gugus Hidrokarbon untuk waktu 10 menit dan berbagai variabel suhu pirolisis microwave..

Gugus Hidrokarbon	Volume Produk Liquid (ml)		
	250°C	350°C	500°C
Cycloparafin	0.20	0.24	0.75
Olefin	0.14	0.35	1.22
n-parafin	0.04	0.14	0.41
Aromatik	0.26	0.69	1.06

Tabel A.27 Kandungan Gugus Hidrokarbon untuk waktu 30 menit dan berbagai variabel suhu pirolisis konvensional.

Gugus Hidrokarbon	Kadar (%) Bedasarkan					
	Variabel Suhu					
	250°C		350°C		500°C	
	≤C9	>C9	≤C9	>C9	≤C9	>C9
Cycloparafin	4.72	0.00	2.39	0.71	5.10	0.10
Olefin	4.15	3.37	3.97	5.60	5.01	3.38
n-parafin	0.86	2.96	2.15	2.26	0.96	4.21
Aromatik	10.98	7.42	14.20	5.99	5.22	4.53

Tabel A.28 Volume Gugus Hidrokarbon untuk waktu 30 menit dan berbagai variabel suhu pirolisis konvensional.

Gugus Hidrokarbon	Volume Produk Liquid (ml)		
	250°C	350°C	500°C
Cycloparafin	0.07	0.13	0.37
Olefin	0.11	0.40	0.60
n-parafin	0.05	0.19	0.37
Aromatik	0.26	0.85	0.70

Tabel A.29 Kandungan Gugus Hidrokarbon untuk waktu 30 menit dan berbagai variabel suhu pirolisis microwave.

Gugus Hidrokarbon	Kadar (%) Bedasarkan Variabel Suhu					
	250°C		350°C		500°C	
	≤C9	>C9	≤C9	>C9	≤C9	>C9
	6.31	1.04	4.92	0.91	6.49	1.23
Olefin	2.64	7.44	5.27	6.70	6.69	5.68
n-parafin	0.52	3.63	1.26	3.79	1.13	4.82
Aromatik	9.37	5.01	5.16	6.21	2.31	6.69

Tabel A.30 Volume Gugus Hidrokarbon untuk waktu 30 menit dan berbagai variabel suhu pirolisis microwave

Gugus Hidrokarbon	Volume Produk		
	250°C	350°C	500°C
Cycloparafin	0.13	0.61	1.06
Olefin	0.18	1.24	1.69
n-parafin	0.07	0.53	0.82
Aromatik	0.26	1.18	1.23

Tabel A.31 Kandungan Gugus Hidrokarbon untuk waktu 60 menit dan berbagai variabel suhu pirolisis konvensional.

Gugus Hidrokarbon	Kadar (%) Bedasarkan Variabel Suhu					
	250°C		350°C		500°C	
	≤C9	>C9	≤C9	>C9	≤C9	>C9
	5.56	0.20	3.07	0.18	21.33	2.47
Olefin	8.91	4.71	5.34	6.36	8.21	5.80
n-parafin	1.97	4.24	1.05	5.41	7.61	3.68
Aromatik	5.94	1.90	7.20	6.13	10.23	5.21

Tabel A.32 Volume Gugus Hidrokarbon untuk waktu 60 menit dan berbagai variabel suhu pirolisis konvensional.

Gugus Hidrokarbon	Volume Produk Liquid (ml)		
	250°C	350°C	500°C
Cycloparafin	0.14	0.23	2.62
Olefin	0.34	0.82	1.54
n-parafin	0.16	0.45	1.24
Aromatik	0.20	0.93	1.70

Tabel A.33 Kandungan Gugus Hidrokarbon untuk waktu 60 menit dan berbagai variabel suhu pirolisis microwave.

Gugus Hidrokarbon	Kadar (%) Bedasarkan Variabel Suhu					
	250°C		350°C		500°C	
	≤C9	>C9	≤C9	>C9	≤C9	>C9
	7.33	1.42	7.02	0.00	17.99	0.58
Olefin	6.76	4.75	8	2.94	4.42	8.06
n-parafin	1.30	5.10	3.11	4.52	2.52	14.89
Aromatik	5.40	4.86	4.97	3.29	6.74	7.26

Tabel A.34 Volume Gugus Hidrokarbon untuk waktu 60 menit dan berbagai variabel suhu pirolisis microwave

Gugus Hidrokarbon	Volume Produk Liquid (ml)		
	250°C	350°C	500°C
Cycloparafin	0.18	0.98	3.06
Olefin	0.23	1.53	2.06
n-parafin	0.13	1.07	2.87
Aromatik	0.21	1.16	2.31

#### **IV.7 Tabel %Penurunan Yield Padat dan %Kenaikan Yield Cair untuk Range 250°C-500°C dan Waktu Pirolisis Konvensional dan Pirolisis Microwave**

Misal : pada variabel waktu 10 menit suhu 500 °C dan untuk Range 250°C-500°C dan Waktu Pirolisis Konvensional.

$$\% \text{ peningkatan yield cair} = \frac{\% \text{yield cair pada suhu } 500\text{oC} - \% \text{yield cair pada suhu } 250\text{oC}}{\% \text{yield cair pada suhu } 500\text{oC}} \times 100\%$$

$$= \frac{9 - 1,25}{9} \times 100\% = 86,11\%$$

$$\% \text{penurunan yield padat} = \frac{\% \text{yield padat pada suhu } 500\text{oC} - \% \text{yield padat pada suhu } 250\text{oC}}{\% \text{yield padat pada suhu } 500\text{oC}} \times 100\%$$

$$= \frac{10,77 - 32,33}{10,77} \times 100\% = 200,31\%$$

**Tabel A.35 % Penurunan Yield Padat dan %Kenaikan Yield Cair untuk Range 250°C-500°C dan Waktu Pirolisis Konvensional**

No	Waktu (menit)	Penurunan Yield Produk	kenaikan Yield Produk
		Padat (%)	Cair (%)
1	10	200.31	86.11
2	30	101.27	83.33
3	60	114.91	77.27

$$\% \text{ peningkatan yield cair} = \frac{\% \text{ yield cair pada suhu } 500^\circ\text{C} - \% \text{ yield cair pada suhu } 250^\circ\text{C}}{\% \text{ yield cair pada suhu } 500^\circ\text{C}} \times 100\%$$

$$= \frac{14,75 - 1,75}{14,75} \times 100\% = 88,14\%$$

$$\% \text{ penurunan yield padat} = \frac{\% \text{ yield padat pada suhu } 500^\circ\text{C} - \% \text{ yield padat pada suhu } 250^\circ\text{C}}{\% \text{ yield padat pada suhu } 500^\circ\text{C}} \times 100\%$$

$$= \frac{7,33 - 26,33}{7,33} \times 100\% = 259,09\%$$

Tabel A.36 % Penurunan Yield Padat dan %Kenaikan Yield Cair untuk Range  $250^\circ\text{C}$ - $500^\circ\text{C}$  dan Waktu Pirolisis Microwave

No	Waktu (menit)	Penurunan Yield Produk	Kenaikan Yield Produk
		Padat (%)	Cair (%)
1	10	259.09	88.14
2	30	208.11	86.86
3	60	239.29	87.88

## **BIODATA PENULIS**



### **Diki Dinar Ramadhika**

Penulis dilahirkan di Surabaya pada 9 Maret 1991, merupakan anak kedua. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu SDN 1 Sawotratap, SMPN 3 Waru, SMAN 19 Surabaya, DIII Teknik Kimia FTI-ITS. Setelah lulus dari DIII Teknik Kimia FTI-ITS pada tahun 2012, penulis melanjutkan studi ke jenjang S1 Teknik Kimia FTI-ITS. Selama kuliah di Teknik Kimia, penulis pernah melaksanakan kerja praktek di PT. Petrokimia Gresik, Jawa Timur.

Email : [dikidinar\\_ramadhika@yahoo.com](mailto:dikidinar_ramadhika@yahoo.com)

## BIODATA PENULIS



### Arief Febrianto

Penulis dilahirkan di Jakarta Selatan pada 28 Februari 1991, merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu SDN Mustikajaya 7 Bekasi, SMPN 26 Bekasi, SMA Daya Utama Yayasan Manabiu'l Ulum Bekasi, DIII Universitas Negeri Sebelas Maret Surakarta. Setelah lulus dari Universitas Negeri Sebelas Maret

Surakarta pada tahun 2012, penulis melanjutkan studi ke jenjang S1 Teknik Kimia FTI-ITS. Selama kuliah di Teknik Kimia, penulis pernah melaksanakan kerja praktek di PG Kebon Agung Malang, Jawa Timur.

Email : wasdapet@gmail.com