SKRIPSI – TK141581

BAHAN BAKAR ALTERNATIF DARI LIMBAH PLASTIK *POLYPROPYLENE* MENGGUNAKAN METODE PIROLISIS *MICROWAVE*

Oleh:
Lisa Kusuma Wardhany
NRP. 02211440000019

Riandrika Iman Setyono
NRP. 02211440000081

Dosen Pembimbing I
Dr. Ir. Sri Rachmania Juliastuti, M.Eng.
NIP. 19590730 198603 2 001

Dosen Pembimbing II
Dr. Eng. R. Darmawan, S.T.,M.T.
NIP. 19780506 200912 1 001

DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

FINAL PROJECT – TK141581

ALTERNATIVE FUEL FROM POLYPROPYLENE PLASTIC WASTE USING MICROWAVE PYROLYSIS METHOD

Written by:
Lisa Kusuma Wardhany
NRP. 02211440000019

Riandrika Iman Setyono
NRP. 02211440000081

Advisor I
Dr. Ir. Sri Rachmania Juliastuti, M.Eng.
NIP. 19590730 198603 2 001

Advisor II
Dr. Eng. R. Darmawan, S.T.,M.T.
NIP. 19780506 200912 1 001

CHEMICAL ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

LEMBAR PENGESAHAN

Bahan Bakar Alternatif dari Limbah Plastik *Polypropylene* Menggunakan Metode *Microwave*

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S-1 Departemen
Teknik Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Oleh :

Lisa Kusuma Wardhany **NRP. 02211440000019**

Riandrika Iman Setyono **NRP. 02211440000081**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Ir. Sri Rachmania Juliastuti M.Eng (Pembimbing I) .....
2. Dr. Eng. R. Darmawan, S. T., M.T (Pembimbing II) .....
3. Ir. Nuniek Hendrianie, M.T. (Penguji I) .....
4. Dr. Ir. Sumarno, M.Eng. (Penguji II) .....
5. Dr. Eva Oktavia Ningrum, S.T., M.S. (Penguji III) .....

KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA

Surabaya,
Juli 2018

BAHAN BAKAR ALTERNATIF DARI LIMBAH PLASTIK *POLYPROPYLENE* MENGGUNAKAN METODE PIROLISIS *MICROWAVE*

Nama Mahasiswa : 1. Lisa Kusuma W. (02211440000019)
2. Riandrika I. S. (02211440000081)
Dosen Pembimbing : 1. Dr. Ir. S.R. Juliastuti, M.Eng.
2. Dr.Eng. R. Darmawan, S.T., M.T.
Departemen : Teknik Kimia
Fakultas : Teknologi Industri

ABSTRAK

Berdasarkan data dari Kementerian Lingkungan Hidup, Indonesia menghasilkan sebanyak 189 ribu ton sampah per hari. Salah satu jenis sampah yang mempengaruhi lingkungan hidup adalah plastik jenis *polypropylene* (PP). Plastik *polypropylene* memiliki daya tahan yang baik terhadap bahan kimia, dan memiliki titik leleh yang tinggi. Penelitian terkait pengolahan sampah plastik ini terus berkembang, salah satunya adalah pirolisis. Namun pirolisis cenderung membutuhkan waktu yang banyak dan energi yang digunakan kurang efisien serta katalis yang digunakan mahal. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui apakah limbah plastik *polypropylene* mampu diubah menjadi bahan bakar alternatif dengan pirolisis menggunakan metode *microwave heating* serta mempelajari pengaruh suhu operasi, waktu, dan rasio katalis terhadap plastik *polypropylene*. Proses pirolisis dilakukan menggunakan reaktor tertutup berkapasitas 500 mL dan beroperasi pada tekanan 1 atm. Sampel limbah plastik *polypropylene* yang digunakan sebanyak 30 gram dan menggunakan katalis karbon aktif dari tempurung kelapa dengan variabel 3 dan 6 gram. Sampel dipanaskan sampai suhu 230, 250, 275, dan 300°C. dan dipertahankan pada variabel waktu selama 10 dan 15 menit. Produk cair dianalisis dengan *Gas Chromatography – Mass Spectrometry* (GC-MS), serta massa produk gas dianalisa dengan *Gas Cromatography* (GC). Dari penelitian ini didapatkan *yield* produk tertinggi, yaitu pada suhu 275°C, dengan penambahan katalis 3

gram (Rasio PP : Katalis 10:1 gram/gram), dan waktu 15 menit. Produk cair yang dihasilkan pada variabel ini sebesar 63,82% dengan kadar *paraffin* 28% dan *cycloparaffin* 0,89%, produk gas sebesar 28,81% dengan kadar metana 2,7%, serta yield residu hanya 7,36%.

Kata kunci: Bahan bakar alternatif, plastik *polypropylene*, pirolisis, *Microwave Heating*, karbon aktif dari tempurung kelapa

ALTERNATIF FUEL FROM POLYPROPYLENE PLASTIC WASTE USING MICROWAVE PYROLYSIS METHOD

Name : **1. Lisa Kusuma W. (02211440000019)**
2. Riandrika I. S. (02211440000081)
Advisors : **1. Dr. Ir. S.R. Juliastuti, M.Eng.**
2. Dr.Eng. R. Darmawan, S.T., M.T.
Departement : **Teknik Kimia**
Faculty : **Teknologi Industri**

ABSTRACT

Based on data of Living Environment Ministry of Indonesia, Indonesia produces about 189 tons of waste/day. One of the waste that affects the environment is PP (Polypropylene). Properties of polypropylene are resistant to chemicals, and have high melting point. Research related to processing of plastic waste is continue to be developed, one of the method is pyrolysis. However, pyrolysis requires a lot of time and energy that used still lacking efficient and catalyst which is used tends to be expensive. In order to be used as an applicative method, microwave heating method and coconut-shell activated carbon can be used. The aim of this research is to study that polypropylene plastic waste can be processed into alternative fuels with microwave heating pyrolysis method and to know the effects of temperature, time, and ratio between catalyst and polypropylene plastic. Pyrolysis process was done using closed reactor with 500 mL of capacity, and the reactor pressure is 1 atm. Waste plastic sample was used as much as 30 grams of polypropylene plastic. The sample was heated to a temperature of 230, 250, 275, and 300°C and maintained at variable of time for 10 and 15 minutes. Liquid products were analyzed by Gas Chromatography – Mass Spectrometry (GC-MS). Gas Product were analyzed by Gas Chromatography (GC). Liquid and residue were analyzed to obtained yield of the pyrolysis product. From the research result, the highest yield of pyrolysis product is at temperature of 275°C, with 3 grams addition of

catalyst (Ratio PP:Catalyst 10:1 gram/gram), and 15 minutes time used. Yield of liquid product is 63,82% with composition of paraffin is 28% and cycloparaffin is 0,89%, yield of gas product is 28,81% with composition of methane is 2,7%,, and yield of residue is 7,36%.

Keywords: Alternative fuel, polypropylene plastic, pyrolysis, Microwave Heating, coconut-shell activated carbon.

KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah kehadirat Allah SWT, hanya karena rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan proposal skripsi ini. Proposal skripsi ini berjudul "Bahan Bakar Alternatif dari Limbah Plastik *Polypropylene* Menggunakan Metode Pirolisis *Microwave*".

Penulisan proposal skripsi ini tidak lepas dari dukungan dan bantuan berbagai pihak. Oleh sebab itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Juwari, S.T., M.Eng., Ph.D., selaku ketua departemen Teknik Kimia FTI-ITS
2. Ibu Dr. Ir. Sri Rachmania Juliastuti, M.Eng., selaku dosen pembimbing I dan kepala Laboratorium Pengolahan Limbah Industri Departemen Teknik Kimia FTI-ITS yang telah banyak memberikan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan proposal skripsi ini.
3. Bapak Dr.Eng. R. Darmawan, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan proposal ini.
4. Kedua orang tua serta saudara-saudari kami yang selalu memberikan dukungan, bimbingan, perhatian, dan doa.
5. Seluruh anggota di Laboratorium Pengolahan Limbah Industri Teknik Kimia 2017/2018, terutama Pak Abubakar Tuhuloula dan Pak Ramli Thahir yang sangat membantu dalam pengerjaan laporan ini.
6. Mas M. Iqbal Hisbullah yang sangat memberikan arahan dalam pengerjaan proposal ini.
7. Mas Faris Bahaudin yang sangat membantu dalam pengerjaan skripsi.
8. Teman-teman Teknik Kimia, terutama angkatan 2014 (K-54) dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah banyak membantu hingga terselesainya proposal skripsi ini.

Proposal skripsi ini tentunya masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharakan kritik dan saran

demi penyempurnaan proposal skripsi ini. Akhirnya, penulis berharap agar proposal skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Surabaya, 9 Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....i
ABSTRACT iii
KATA PENGANTAR.....v
DAFTAR ISI.....vii
DAFTAR GAMBAR.....xi
DAFTAR TABEL.....xiii
BAB I PENDAHULUAN
I.1. Latar Belakang..... I-1
I.2. Rumusan Masalah I-2
I.3. Tujuan Penelitian..... I-2
I.4. Manfaat Penelitian..... I-3
I.5. Batasan Masalah I-3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA
II.1. Bahan Baku..... II-1
II.2. Pirolisis II-6
II.2.1. Mekanisme Degradasi pada Pirolisis II-7
II.2.2. Metode *Microwave* dan Metode Konvensional II-8
II.3. Katalis..... II-11
II.3.1. Katalisa Homogen dan Heterogen..... II-11
II.3.2. Katalis yang Digunakan pada Pirolisis..... II-12
II.3.3. Katalis Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa II-13
II.3.3.1. Karakteristik Tempurung Kelapa II-11
II.3.3.2. Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa..... II-15
II.3.3.3. Proses Aktivasi Katalis Karbon Aktif..... II.17
II.3.3.4. Karakteristik Katalis Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa..... II.18
II.4. Penelitian Terdahulu..... II-20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN
III.1. Tempat dan Waktu Penelitian.....III-1

III.2. Bahan dan Alat Penelitian.....III-1
III.2.1. Bahan Penelitian III-1
III.2.2. Alat Penelitian.....III-1
III.3. Kondisi Operasi dan Variabel Penelitian III-1
III.3.1. Kondisi Operasi.....III-1
III.3.2. Variabel Penelitian.....III-2
III.4. Tahapan Metodologi Penelitian.....III-2
III.4.1. Perangkaian Alat.....III-2
III.4.2. Aktivasi Katalis Karbon dari Tempurung Kelapa III-3
III.4.3. Pirolisis III-3
III.5. Analisis Hasil III-6
III.5.1. Analisis Kandungan dan Morfologi Katalis Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa dengan Menggunakan SEM-EDX (*Scanning Electron Microscope Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*).....III-6
III.5.2. Analisis *Surface Area* Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa menggunakan BET (*Brunauer, Emmet, and Teller*).....III-6
III.5.3. Analisis Kandungan Gas dengan Menggunakan GC (*Gas Chromatography*).....III-6
III.5.4. Analisis Kandungan Bahan Bakar Alternatif dengan Menggunakan GC-MS (*Gas Chromatography – Mass Spectometry*) III-7
III.6. Pengolahan Data III-7
III.7. *Timeline* Kegiatan Penelitian III-8
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN
IV.1. Analisis Katalis..... IV-1
IV.2. Hasil yang Diperoleh..... IV-3
IV.3. Pengaruh Suhu Terhadap Hasil Pirolisis *Microwave*..... IV-4
IV.3.1. Pengaruh Suhu Terhadap *Yield*..... IV-4
IV.3.2. Pengaruh Suhu Terhadap Komposisi..... IV-6

IV.4. Pengaruh Waktu Terhadap Hasil Pirolisis *Microwave* IV-10
IV.4.1. Pengaruh Waktu Terhadap *Yield* IV-10
IV.4.2. Pengaruh Waktu Terhadap Komposisi . IV-12
IV.5. Pengaruh Jumlah Katalis Terhadap Hasil Pirolisis *Microwave* IV-13
IV.4.1. Pengaruh Jumlah Katalis Terhadap *Yield* IV-13
IV.4.2. Pengaruh Jumlah Katalis Terhadap Komposisi IV-16
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN
V.1. Kesimpulan.....V-1
V.2. Saran.....V-2
DAFTAR PUSTAKA xv
APPENDIX **A-1**

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1. Rumus Bangun *Polypropylene* II-4
Gambar II.2. Rumus Bangun *Polystyrene* II-5
Gambar II.3. Rumus Bangun *Polyethylene Terephthalic* II-6
Gambar II.4. Rumus Bangun *Polyvinylchloride* II-6
Gambar II.5. Rumus Bangun *Polyamide* II-7
Gambar II.6. Mekanisme Degradasi Saat Pirolisis II-8
Gambar II.7. Profil *Microwave* II-10
Gambar II.8. Hasil Analisis XRD dari *Coconut-Shell Ash* II-14
Gambar II.9. Hasil Analisa SEM/EDS dari Abu Tempurung Kelapa II-15
Gambar II.10 (a) *Yield* Proses Pirolisis Gliserol pada 300°C II-17
(b) *Yield* Proses Pirolisis Gliserol pada 400°C II-17
Gambar II.11 Hasil Morfologi SEM dari Tempurung Kelapa II-19
Gambar III.1. Rangkaian Alat Pirolisis dengan *Microwave Heating* III-2
Gambar III.2. Metode Pengaktifan Katalis Karbon dari Tempurung Kelapa III-3
Gambar III.3. Proses Pirolisis PP dengan Metode *Microwave Heating* III-5
Gambar IV.1. (a) Morfologi Katalis dan (b) Kandungan pada Katalis IV-2
Gambar IV.2. Hasil Analisis Katalis Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa (CSAC) Menggunakan BET IV-3
Gambar IV.3. Hasil Analisa Residu Menggunakan EDX IV-4
Gambar IV.4. Pengaruh Suhu Terhadap *Yield* Produk Cair . IV-5
Gambar IV.5. Pengaruh Suhu Terhadap *Yield* Produk Gas .. IV-5
Gambar IV.6. Pengaruh Suhu Terhadap *Yield* Residu..... IV-6
Gambar IV.7. Perbandingan Komposisi Setiap Suhu Pada Waktu 10 Menit dengan Rasio PP : Katalis 10:1

(Gram PP : Gram Katalis)..... IV-7
Gambar IV.8. Perbandingan Komposisi Setiap Suhu Pada Waktu 10 Menit dengan Rasio PP : Katalis 10:2 (Gram PP : Gram Katalis) IV-8
Gambar IV.9. Perbandingan Komposisi Setiap Suhu Pada Waktu 15 Menit dengan Rasio PP : Katalis 10:1 (Gram PP : Gram Katalis) IV-8
Gambar IV.10. Perbandingan Komposisi Setiap Suhu Pada Waktu 15 Menit dengan Rasio PP : Katalis 10:2 (Gram PP : Gram Katalis) IV-9
Gambar IV.11. Pengaruh Suhu Terhadap Komposisi Produk Gas..... IV-10
Gambar IV.12. Pengaruh Waktu Terhadap *Yield* Produk Cair..... IV-11
Gambar IV.13. Pengaruh Waktu Terhadap *Yield* Produk Gas..... IV-12
Gambar IV.14. Pengaruh Waktu Terhadap *Yield* Residu ... IV-12
Gambar IV.15. Pengaruh Waktu Terhadap Komposisi Produk Gas..... IV-13
Gambar IV.16. Pengaruh Jumlah Katalis Terhadap *Yield* Produk Cair..... IV-15
Gambar IV.17. Pengaruh Jumlah Katalis Terhadap *Yield* Produk Gas..... IV-15
Gambar IV.18. Pengaruh Jumlah Katalis Terhadap *Yield* Residu..... IV-29
Gambar IV.19. Pengaruh Jumlah Katalis Terhadap Komposisi Produk Gas IV-17

DAFTAR TABEL

Tabel II.1. Perbedaan Metode *Microwave Heating* dan *Conventional Heating* II-11
Tabel II.2. Data Hasil Analisis dari *Coconut-Shell Ash* II-14
Tabel II.3. Hasil Analisis XRF dari Abu Tempurung Kelapa II-15
Tabel II.4. Analisa *Proximate* dan *Ultimate* dari Tempurung Kelapa / *Coconut Shell* (CS), *Coconut-Shell Carbon* (CSC), *Coconut-Shell Activated Carbon* (CSAC)..... II-18
Tabel II.5. Luas Permukaan dan Ukuran Pori CSC dan CSAC dengan Waktu Radiasi *Microwav* yang Berbeda II-17
Tabel III.1. *Timeline* Kegiatan Penelitian III-15

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I
PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Penggunaan plastik dan barang-barang berbahan dasar plastik semakin meningkat seiring berkembangnya teknologi, industri, dan juga jumlah populasi penduduk. Di Indonesia, kebutuhan plastik terus meningkat hingga mengalami kenaikan rata-rata 200 ton per tahun. Peningkatan penggunaan plastik ini mengakibatkan peningkatan jumlah sampah plastik. Berdasarkan asumsi Kementerian Lingkungan Hidup (KLH), setiap hari penduduk Indonesia menghasilkan 0,8 kg sampah per orang atau secara total sebanyak 189 ribu ton sampah per hari. Dari jumlah tersebut, 15% berupa sampah plastik, atau sejumlah 28,4 ribu ton sampah plastik per hari (Fahlevi, 2012).

Salah satu sampah plastik yang cukup dominan adalah plastik berbahan dasar PP (*polypropylene*) dikarenakan memliki daya tahan yang baik terhadap bahan kimia, kuat, dan memiliki titik leleh yang tinggi, sehingga cocok digunakan untuk produk yang berhubungan dengan makanan dan minuman seperti tempat menyimpan makanan, botol minum, tempat obat, dan botol minum untuk bayi.

Pengelolaan sampah selama ini sebatas pada penggunaan kembali (*reuse*), daur ulang (r*ecycle*), dan pembakaran. Namun masing-masing metode tersebut mempunyai kelemahan. Kelemahan dari *reuse* adalah beberapa jenis plastik tidak baik bagi kesehatan tubuh apabila dipakai berkali-kali. Kelemahan dari *recycle* adalah bahwa plastik yang sudah didaur ulang untuk dijadikan barang plastik lagi akan semakin menurun kualitasnya. Sedangkan kelemahan dari pembakaran adalah menghasilkan gas karbon monoksida yang berbahaya untuk lingkungan, dan juga menghasilkan zat dioksin yang dapat menyebabkan berbagai penyakit. Oleh karena polusi yang dihasilkan pembakaran tersebut, menyebabkan diperlukan adanya metode lain yang lebih ramah lingkungan dan aman untuk kesehatan.

Salah satu metode yang sedang diteliti adalah pirolisis. Pirolisis akan mengubah sampah plastik menjadi bahan bakar. Dengan metode ini, selain mengatasi masalah penumpukan sampah plastik juga dapat menjadi terobosan baru dalam dunia energi terbarukan. Terdapat dua metode pada proses pirolisis yang umum digunakan, yaitu *conventional heating* dan *microwave heating*. *Microwave heating* memiliki waktu reaksi yang lebih singkat, lebih mudah memanaskan bahan polimer, dan efisiensi pemanasan yang tinggi. Namun kelemahannya adalah membutuhkan tenaga listrik. Di sisi lain, metode *conventional heating* membutuhkan waktu reaksi yang lebih lama dan membutuhkan bahan bakar dalam prosesnya. Sehingga dalam proses pirolisis PP ini lebih baik menggunakan *microwave heating*.

Dalam proses pirolisis diperlukan katalis untuk mendukung proses *thermal cracking* dari hidrokarbon. Jenis katalis yang umum digunakan adalah katalis logam. Namun, harga katalis logam cukup mahal, tidak sepadan dengan produk yang dihasilkan yang harganya murah. Sehingga diperlukan katalis yang bisa didapatkan dengan harga terjangkau. Salah satu bahan yang bisa digunakan sebagai katalis adalah karbon aktif berbahan dasar tempurung kelapa. Oleh karena itu, dilakukan penelitian tentang "Bahan Bakar Alternatif dari Limbah Plastik *Polypropylene* Menggunakan Metode Pirolisis *Microwave*"

I.2. Rumusan Masalah

Dari uraian latar belakang di atas, maka bisa dirumuskan permasalahan untuk penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Limbah plastik PP cukup tinggi, namun plastik jenis ini sangat sulit diuraikan di alam. Sehingga, limbah plastik PP harus didaur ulang. Salah satu pengelolaannya dengan pirolisis. Dengan adanya pengelolaan limbah plastik PP dengan pirolisis yang menggunakan metode *microwave heating* diharapkan mampu mendegradasi komponen dan mengubah menjadi bahan bakar altermatif.

2. Penggunaan katalis alami untuk pengelolaan limbah plastik PP dengan pirolisis yang menggunakan metode *microwave heating* selama ini masih kurang dan hanya menggunakan katalis logam yang memiliki harga cukup tinggi.

I.3. Tujuan Penelitian

1. Mengetahui apakah limbah plastik PP mampu diubah menjadi bahan bakar alternative dengan pirolisis menggunakan metode *microwave heating*.
2. Mempelajari pengaruh suhu operasi, waktu, dan rasio plastik PP : katalis terhadap *yield* dan komposisi dari bahan bakar alternatif yang dihasilkan dari proses pirolisis dengan metode *microwave heating*.

I.4. Manfaat Penelitian

1. Pengelolaan limbah plastik menjadi bahan bakar alternatif dari bahan baku plastik PP yang melimpah sehingga dapat memaksimalkan nilai guna plastik PP menggunakan proses pirolisis dengan metode *microwave heating* yang ramah lingkungan.
2. Memberikan solusi terhadap permasalahan kebutuhan energi terbarukan yang semakin meningkat dengan mengkonversi limbah plastik PP menjadi bahan bakar alternatif.

I.5. Batasan Masalah

1. Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium dengan volume total 500 mL dan volume kerja 36 mL
2. Penelitian menggunakan bahan plastik PP.
3. Penelitian menggunakan katalis alami berupa karbon aktif berbahan dasar tempurung kelapa.
4. Penelitian dilakukan untuk mengetahui hasil berupa kadar pada produk cair dan gas.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

II.1. Bahan Baku

Kata “polimer” pertama kali digunakan oleh Berzelius, ahli kimia Swedia, pada tahun 1833. Sepanjang abad 19 para ilmuwan bekerja dengan makromolekul tanpa memiliki suatu pengertian yang jelas mengenai strukturnya. Sebenarnya, ada beberapa polimer alam yang termodifikasi telah dikomersialkan. Polimer berasal dari bahasa Yunani yaitu *poly* yang berarti banyak, dan *mer*, yang berarti bagian atau satuan. Ciri utama polimer yakni mempunyai rantai karbon yang sangat panjang dan memiliki massa molekul yang besar (Stevens, 2011).

Polimer banyak digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan produk seperti konstruksi (perabot dan bangunan), transportasi, serta konsumen dan industri barang (kemasan, peralatan listrik dan elektronik, peralatan medis, olahraga, dan lain-lain). Paparan suhu dan lingkungan dari polimer umumnya menyebabkan degradasi dan kerusakan polimer. Degradasi polimer dapat dianggap sebagai semua jenis modifikasi dari rantai polimer yang melibatkan rantai utama, cabang, atau keduanya. Perubahan ini umumnya terjadi karena perubahan kimia secara alami (pemecahan ikatan valensi primer), yang mengarah ke berat molekul terendah, penyilangan, dan siklisasi. Berikut merupakan jenis degradasi polimer yang terjadi karena factor lingkungan:

a. Degradasi suhu: dikarenakan oleh paparan suhu yang tinggi.
b. Degradasi oksidatif: dikarenakan oleh paparan oksidator yang masuk.
c. Degradasi radiasi: dikarenakan oleh paparan energi radiasi.
d. Degradasi mekanik dan ultrasonik: dikarenakan oleh jenis mesin (missal *grinding*, *ball milling*, *roll milling*, dan lain-lain).
e. Degradasi kimia: dikarenakan oleh paparan bahan kimia

f. Degradasi biologis: dikarenakan oleh paparan organisme hidup, seperti jamur dan bakteri.

(Andrea, 2013)

Resin *phenol formaldehyde* (pada zamannya disebut juga *Bakelite*) merupakan sintesis polimer yang pertama kali dibuat oleh Leo Baekeland di Yonkers, New York, pada tahun 1907. Penemuan ini sukses bukan hanya sebagai pengganti untuk pelapis pada kabel listrik, tetapi juga menjadi barang yang banyak digunakan, seperti pada kabel telepon kuno dan perlengkapan alat listrik lainnya. Sejak saat itu, plastik berkembang dengan cepat dan sekarang menjadi hal yang sangan dibutuhkan di kehidupan sehari-hari. Penggunaan plastik dan karet yang semakin meningkat menjadi rekomendasi untuk membuat fleksibelitas, kinerja yang tinggi, dan keefektifan harga polimer menjadi setara dengan bahan pokok lainnya (Andrady, 2003).

Plastik terdiri dari lima jenis, diantaranya adalah *polyethylene* (PE), *polypropylene* (PP), *polystyrene* (PS), *polyethylene terephthalate* (PET), *polyvinylvhloride* (PVC), dan *polyamide* (PA) (Andrea, 2013).

Polyethylene (PE) merupakan plastik yang paling banyak digunakan di dunia, termasuk beberapa ko-polimer dari *ethylene* sebagai penambah pada *homopolymer*. *Polyethylene homoplymer* memiliki struktur kimia yang paling sederhana dari polimer lainnya.

$$-\mathrm{CH_2}-\mathrm{CH_2}-\mathrm{CH_2}-\mathrm{CH_2}-\mathrm{CH_2}-\mathrm{CH_2}-\mathrm{CH_2}-\mathrm{CH_2}-$$

Oleh karena sifat semikristalinnya, *polyethylene* tidak memiliki densitas yang spesifik. Sehingga, *polyethylene* dibagi menjadi tiga tipe, yaitu:

- *Low-density polyethylenes* (LDPE)
- *High-density polyethylenes* (HDPE)
- *Linear low-density polyethylenes* (LLDPE)

LDPE memiliki struktur dengan rantai yang bercabang-cabang. Cabang pada rantai tersebut ada yang panjang dan pendek, dan memiliki densitas pada rentang 0,941-0,93 g/cm^3 dan

kemampuan membentuk kristal sebesar 40-60%. LDPE memiliki titik leleh pada rentang 110-115°C.

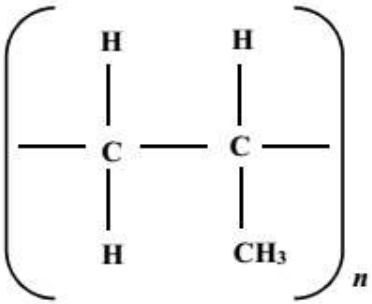
HDPE memiliki struktur yang paling sederhana dan pada dasarnya terbuat dari rantai polimer yang hampir tidak bercabang. HDPE memiliki kemampuan tertinggi dari *polyethylene* untuk membentuk kristal, yaitu sebesar 70-95% (dan memiliki densitas yang tinggi, yaitu pada rentang 0,941-0,965 g/cm^3).

LLDPE kebanyakan memiliki rantai karbon yang pendek, dengan densitas pada rentang 0,915-0,94 g/cm^3 dan kemampuan yang sama dengan LDPE dalam membentuk kristal. Resin ini mulai digunakan pada tahun 1968 untuk *packanging* film, beberapa dibuat produk seperti tas belanja dan kantong sampah (Andrady, 2003).

Kebutuhan *polypropylene* (PP) semakin meningkat sejak pertengahan tahun 1950. PP adalah lapisan bening yang mengkilat dengan ketahanan yang tinggi dan kuat terhadap kebocoran dan merupakan jenis bahan baku plastik yang ringan. Densitas PP memiliki rentang pada 0,9-0,92 g/cm^3. Plastik ini memiliki tingkat kekerasan dan kerapuhan yang paling tinggi, serta kurang stabil terhadap panas dikarenakan ada hidrogen tersier didalam strukturnya. Berikut adalah karakteristik *polypropylene*: (Matthias, 2007)

- Indeks bias : 1,49
- *Tensile strength* : 4300 – 5500 psi
- *Elongation* : 200 – 700%
- *Impact strength* : 0,5 – 2 ft.lb/in
- Densitas : 0,855 g/cm^3
- Titik leleh : 160°C

Rumus bangun *polypropylene* dapat dilihat pada Gambar II.1 berikut: (Kalpakjian, 2008)



Gambar II.1 Rumus Bangun *Polypropylene*

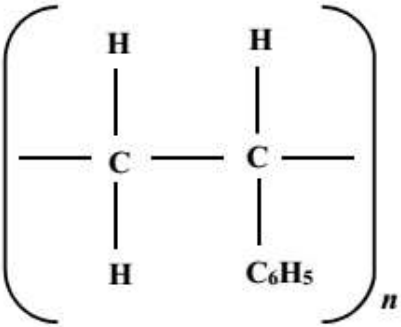
Plastik PP merupakan salah satu plastik konvensional (*non-biodegradable*) yang paling sering digunakan pada saat ini. Hal ini dikarenakan selain harganya yang relative murah dan proses produksi yang relative mudah, plastik PP ini juga memiliki kesetimbangan sifat mekanik dan termal yang cukup baik. PP memiliki permukaan yang tidak rata, seringkali lebih kaku dari beberapa plastik jenis lain dan cukup ekonomis. Plastik PP memiliki permukaan yang bening tapi tidal lebih transparan dari plastik *polystyrene* akrilik maupun plastik tertentu lainnya.

Di Pasar Amerika Utara, kebanyakan *polypropylene* diinjeksi kedalam produk atau dipintal ke dalam serat yang akan digunakan untuk aplikasi bidang tekstil, yang terakhir termasuk karung yang terbuat dari potongan susunan *polypropylene* yang digunakan untuk pengemas produk agricultural. Produk yang biasanya dibuat yaitu termasuk penutup botol, wadah, botol, dan kotak. PP biasanya digunakan juga untuk kaleng biskuit, bungkus *snacks* dan makanan kering (Cowd, 1991).

Polystyrene (PS) umumnya memiliki sifat tidak berwarna, keras, berbahan kaca dengan densitas 1,05 g/cm^3. Sifat fisikanya yaitu daya serap airnya rendah dan memiliki rentang warna yang bagus. Sifat-sifat tersebut yang membuat PS menjadi resin yang sangat banyak digunakan. PS adalah plastik yang sangat berguna dan bisa digunakan untuk produk consumer dengan variasi yang

sangat luas. Sebagai contoh, plastik padat, biasanya digunakan pada produk yang membutuhkan kejernihan, seperti kemasan makanan dan barang laboratorium. Jika dikombinasikan dengan berbagai pewarna atau plastik jenis lain, maka PS dapat dijadikan sebagai alat-alat, elektronik, *sparepart* kendaraan, mainan, pot tanaman, dan lain-lain (Cowd, 1991).

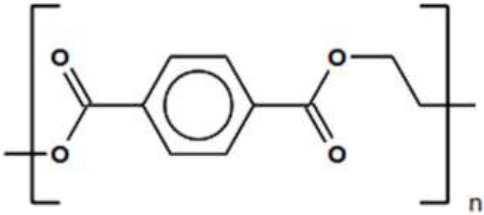
Rumus bangun *polystyrene* dapat dilihat pada Gambar II.2. (Kalpakjian, 2008)



Gambar II.2 Rumus Bangun *Polystyrene*

Polyethylene terephthalate (PET) adalah plastik yang bening, kuat, dan ringan. Biasanya digunakan untuk kemasan makanan dan minuman, terutama kemasan minuman ringan, jus, dan air. Selain itu, PET digunakan untuk kemasan bumbu salad, kemasan selai kacang, kemasan minyak goreng, kemasan sampo, dan kemasan sabun tangan cair. PET sangat aman jika berkontak dengan makanan (*www.petresin.org*).

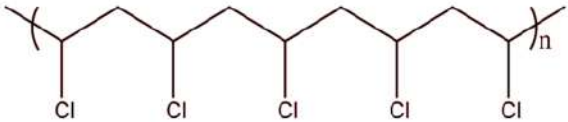
PET terbentuk dari asam *terephthalic* (sebuah asam dikarboksilat) dan *ethylene glycol* (sebuah dialkohol). Kedua substansi bereaksi secara bersamaan untuk membentuk rantai polimer panjang dengan air sebagai produk samping. Rumus bangun *polyethylene terephthalic* dapat dilihat pada *Gambar* II.3. (European Federation of Bottled Waters, 2004).



Gambar II.3 Rumus Bangun *Polyethylene terephthalic*

Polyvinylchloride (PVC) adalah salah satu bahan termoplastik dengan jumlah sangat banyak di dunia karena memiliki karakter yang sangat bernilai, banyak diaplikasikan terhadap banyak hal, tahan terhadap bahan kimia, karakter penghalang, dan harganya murah. Selain itu, kestabilan suhu dan kemudahan untuk pemrosesan dari PVC ini masih dibawah rata-rata jika dibandingkan polyethylene, polypropylene, dan polyamide. Karakter tersebut dapat diperkuat dengan mencampurkan PVC dengan pengisi organik atau non-organik. Biasanya pengisi yang sering digunakan adalah *calcium carbonate*.

Rumus bangun *polyvinylchloride* dapat dilihat pada Gambar II.4. (Ameer, 2013).

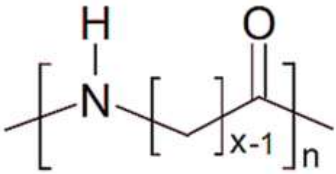


Gambar II.4 Rumus Bangun *Polyvinylchloride*

Polyamide atau yang biasanya disebut dengan nilon adalah sebagai dasar pembuat polipeptida. Biasanya, *polyamide* diaplikasikan untuk ban, karpet, kaos kaki, kain pelapis, dan bahan perekat. Semua *polyamide* biasanya mempunyai rantai amida (-CONH-) ganda yang ada pada struktur molekulnya dan bisa dibagi

menjadi dua kategori utama yaitu poliamida alifatik dan poliamida aromatik.

Rumus bangun *polyamide* dapat dilihat pada Gambar II.5. (Vinken, 2008).



Gambar II.5 Rumus Bangun *Polyamide*

II.2. Pirolisis

Pirolisis berasal dari dua kata, yaitu *pyro* yang berarti panas dan *lysis* yang berarti penguraian atau degradasi. Sehingga, pirolisis berarti penguraian biomassa karena panas pada suhu yang lebih dari 150°C (Kamaruddin dkk, 1999).

Pirolisis adalah dekomposisi kimia bahan organik melalui proses pemanasan tanpa atau sedikit oksigen atau reagen lainnya. Pirolisis dilakukan di dalam sebuah reaktor pengurangan atmosfer (hampa udara) pada temperature hingga 800°C (Ramadhan, 2013).

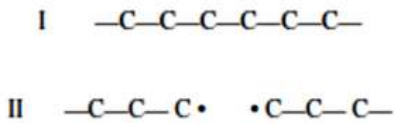
Proses pirolisis dapat disebut juga dengan proses perengkahan atau *cracking*. *Cracking* adalah proses pemecahan rantai polimer menjadi senyawa dengan berat molekul yang lebih rendah. Hasil dari proses *cracking* plastik ini dapat digunakan sebagai bahan kimia atau bahan bakar (Nazif dkk, 2016).

Pirolisis adalah suatu metode yang dapat digunakan untuk proses daur ulang plastik dalam skala besar. Manfaat dari pirolisis ini yaitu ramah lingkungan, serta plastik yang bermacam-macam ataupun plastik sisa yang masih baik dapat diproses secara bersamaan. Selain itu, pirolisis dapat dicapai pada unit lokasi yang tidak terbatasi, terutama yang dapat mengubah produk cairan menjadi bahan bakar berkualitas tinggi (Aitziber, 2015).

II.2.1. Mekanisme Degradasi pada Pirolisis

Degradasi dari molekul yang terjadi pada proses pirolisis disebabkan disosiasi dari ikatan kimia dan pembentukan radikal bebas. Fragmentasi pada pirolisis akan sesuai dengan tipe dari ikatan kimia yang terlibat dan stabilitas dari molekul yang lebih kecil. Apabila subjek molekul hanya didasarkan pada rantai utama karbon, seperti pada sintetik polimer, maka dapat diperkirakan bahwa rantai akan terpecah secara acak menjadi molekul-molekul yang lebih kecil dan mirip dengan molekul induknya (Wampler, 2007).

Terdapat beberapa jenis degradasi yang terjadi dalam proses pirolisis, salah satunya adalah *random scission*, yakni memecah rantai panjang suatu molekul seperti rantai utama hidrokarbon menjadi molekul-molekul yang lebih kecil secara acak. Jika semua ikatan antar karbon memiliki kekuatan yang hampir sama, satu molekul akan terpecah lebih dari molekul yang lain, dan konsekuensinya fragmen polimer akan menghasilkan susunan lebar dari molekul-molekul yang lebih kecil. Ketika *polyethylene* (struktur I) dipanaskan akan menyebabkan terjadinya pirolisis, dimana akan memecah menjadi beberapa hidrokarbon yang mengandung beberapa jumlah karbon termasuk metana, etana, propana, dan lain-lain. Proses degradasi *random scission* dapat dilihat pada Gambar II.6. (Wampler, 2007).



Gambar II.6 Mekanisme Degradasi saat Pirolisis

II.2.2. Metode *Microwave* dan Metode Konvensional

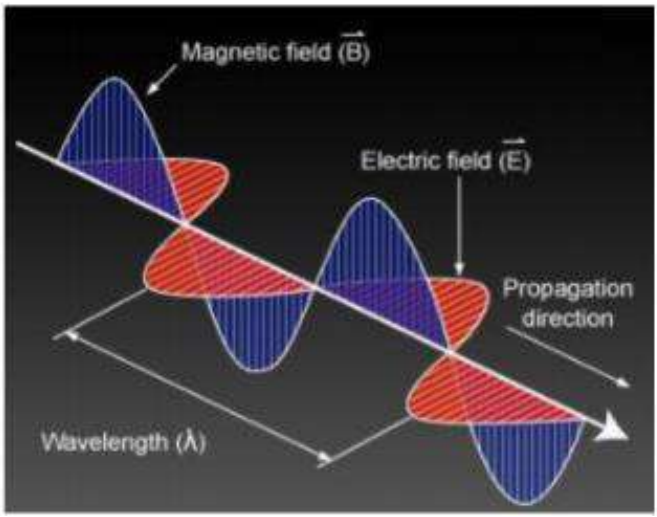
Penggunaan radiasi *microwave* pada partikel ditemukan pada Perang Dunia II, dalam penelitian intensif tentang radiasi elektromagnetik pada rentang frekuensi dari 500 MHz sampai 100 GHz dalam pengembangan radar definisi tinggi. *Microwave heating* dikategorikan sebagai metode pemanasan *electric*

volumetric. *Microwave heating* menggunakan frekuensi sampai 900MHz (λ=33,3 cm) dan pada 2,45 GHz (λ=12,2 cm). Berdasarkan bahan yang akan dipanaskan, terdapat tiga mekanisme pemanasan. Mekanisme ini terjadi karena perpindahan partikel bermuatan pada bahan saat terkena radiasi gelombang mikro, berikut merupakan macam-macam mekanismenya:

- Elektron disekitar *nucleus* atau atom intinya sendiri berpindah dari posisi keseimbangannya, menghasilkan gaya dipol-dipol. Pada beberapa bahan (seperti air), terdapat gaya dipol-dipol permanen karena distribusi muatan asimetris pada masing-masing molekul. Dipol-dipol ini, induksi maupun peranen, cenderung berorientasi di bawah pengaruh medan listrik yang berubah-ubah.
- Tipe lain dari polarisasi terjadi dari penumpukan muatan di area kontak antara komponen yang berbeda pada system heterogen. Fenomena ini juga dikenal sebagai polarisasi *interfacial* karena perbedaan konduktivitas dan konstanta dielektrik dari bahan pada titik kontak.
- Konduksi ionik: beberapa bahan menghasilkan arus listrik di dalam dirinya saat berada dalam medan elektromagnetik. Bila arus listrik ini mengalir di dalam struktur material tersebut, bahan tersebut akan memanas.

Microwave sudah sering digunakan untuk memanaskan karbon untuk *sintering* di industrik kermaik, untuk mendapatkan kecepatan panas yang baik dan suhu yang tinggi. Selain itu, *microwave heating* juga digunakan untuk memanaskan karbon pada regenerasi karbon aktif. Pada pirolisis *microwave* untuk plastik, ketika karbon terkena ruangan *microwave*, suhunya akan mencapai 1000°C dalam beberapa menit. Jika plastik yang sudah hancur dicampur dengan karbon, sebelum atau selama pemanasan, energi yang diserap dari gelombang mikro akan berpindah ke plastik dengan proses konduksi, yang akan memberikan transfer energi yang sangat efisien, dan jika karbon digunakan sebagai *microwave-absorbent*, akan sangat mengurangi bahan kimia di lingkungan (Ludlow-Palafox, 2006).

Energi dari *microwave* tidak memanaskan ruangan, tetapi hanya memanaskan bahan tanpa menghasilkan gas emisi yang berbahaya dari sumber panas. Energi utamanya akan diserap oleh bahan yang diletakkan pada ruangan material. *Microwave* adalah gelombang elektromagnetik yang mempunyai panjang gelombang yang bervariasi dari 1 milimeter hingga 1 meter. Profil dari *microwave* dapat dilihat pada gambar II.7. (Jones, 2010).



Gambar II.7. Profil *Microwave*

Dalam penelitian ini, metode yang digunakan adalah pirolisis dengan menggunakan *microwave*. Menurut Andrea (2013), metode *microwave heating* memiliki kelebihan yang banyak dibanding dengan metode *conventional heating*, terutama pada lamanya proses dan distribusi panas. Perbedaan yang terjadi antara metode *microwave heating* dan *conventional heating* dapat dilihat pada tabel II.1. (Andrea, 2013).

Tabel II.1 Perbedaan Metode *Microwave Heating* dan *Conventional Heating*

Microwave Heating	*Conventional Heating*
1. Reaksi berjalan cepat (menit)	1 Reaksi berjalan lama (jam)
2. Proses pemanasan polimer yang sangat mudah	2 Transfer panas sangat sulit
3. Efisiensi pemanasan sangat tinggi	3 Efisiensi pemanasan sulit dilakukan
4. *Electrical power* sangat dibutuhkan	4 Kemungkinan menggunakan setiap sumber bahan bakar
5. Membutuhkan *microwave*	5 Tidak membutuhkan alat yang spesifik

II.3. Katalis

Katalisa adalah suatu fenomena dimana reaksi kimia mengalami percepatan dikarenakan sedikit zat asing, yang disebut katalis. Katalis yang sesuai dengan bahannya dapat meningkatkan laju reaksi secara termodinamika, namun tidak dapat mengubah titik kesetimbangannya. Sebagian besar katalis merupakan zat padat atau cairan, tetapi bisa juga berupa gas.

Reaksi katalitik adalah proses siklik. Menurut model sederhana, reaktan menjadi kompleks dikarenakan katalis, sehingga membuka jalur transformasi ke dalam produk. Setelah itu, katalis dilepaskan dan tahap selanjutnya dapat berlanjut.

Namun, katalis memiliki jangka waktu yang terbatas. Reaksi samping dari produk atau perubahan struktur katalis dapat menyebabkan katalis menjadi tidak berfungsi. Sehingga, katalis harus diaktifkan kembali dengan regenerasi atau diganti dengan yang baru (Deutschmann, 2009).

II.3.1. Katalisa Homogen dan Heterogen

Katalisa dibagi menjadi dua tipe, yaitu katalis homogen dan heterogen. Katalisa homogen merupakan tahapan reaksi yang melibatkan katalis pada fase yang sama dengan reaktannya, dan umumnya menggunakan molekul organik, kompleks organologam, asam atau basa, atau garam sebagai katalis. Biasanya, reaksi katalisa homogen memiliki sisi aktif yang baik, yang mempunyai keaktifan dan selektivitas yang tinggi. Namun, kebanyakan proses katalisa homogen sulit diaplikasikan di skala besar termasuk regenerasi katalis, stabilitas, dan penanganannya di industri.

Katalisa heterogen tidak berada pada fase yang sama dengan reaktannya. Katalisa heterogen melibatkan penggunaan katalis padat dalam fase *liquid* atau gas. Oleh karena itu, katalis heterogen memiliki kelebihan yaitu produk sudah terpisah dari katalisnya dan katalis heterogen lebih stabil dari katalis homogen. Katalisa heterogen selalu melibatkan perpindahan massa dan proses difusi antar reaktan, produk, dan katalis padat. (Li, 2014)

Katalis yang digunakan pada penelitian ini berfungsi sebagai material yang membantu perpindahan panas dan sebagai katalis untuk *thermal cracking*. Pada awal pemanasan reaktan, katalis berbentuk padatan. Katalis bekerja setelah reaktan dipanaskan dan berubah menjadi gas. Katalis yang digunakan pada penelitian ini adalah katalis heterogen.

II.3.2. Katalis yang Digunakan pada Pirolisis

Thermal pyrolysis membutuhkan suhu yang tinggi karena rendahnya konduktivitas suhu polimer. Oleh karena itu, untuk mengurangi kondisi reaksi ini, digunakan pirolisis katalis. Pirolisis katalis merupakan cara alternatif untuk mendaurulang limbah plastik murni atau campuran. Katalis yang digunakan harus dapat mendekomposisi reaksi pada suhu rendah dengan konsumsi energi yang lebih kecil, mengurangi biaya, meningkatkan yield produk dengan penambahan nilai yang lebih tinggi, meningkatkan selektivitas proses, mempercepat reaksi *cracking* (bisa dengan

waktung tinggal yang lebih sedikit dan volume reaktor yang lebih kecil), menghambat pembentukan produk yang tidak diinginkan, menghambat pembentukan produk yang mengandung hidrokarbon siklik, berbau dan bercabang pada kasus *catalytic cracking* dari *polyoelfins*, serta harus mengandung produk *liquid* dengan rentang titik didik yang lebih rendah.

Secara umum, katalis heterogen digunakan karena memudahkan pemisahan antara katalis dan produk, serta *recovery* reaksinya. Katalis heterogen yang biasanya digunakan antara lain asam padat konvensional (seperti katalis zeolite, silika-alumina, alumina dan kataliS *Fluid Catalytic Cracking*), katalis mesostruktur (seperti MCM-41, dan lain-lain), Nanokristalin zeolit (seperti n-HZSM-5), dan lain-lain (Almeida, 2016).

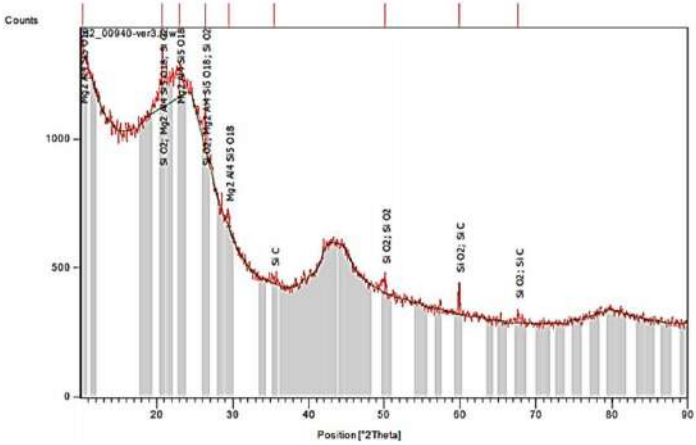
II.3.3. Katalis Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa

II.3.3.1. Karakteristik Tempurung Kelapa

Dari hasil analisis ukuran partikel dari tempurung kelapa menunjukkan bahwa abu dari tempurung kelapa memilki *Grain Fineness Number* (GFN) sebesar 75,08. *Density* dari abu tempurung kelapa adalah 2,05 g/cm^3 yang menunjukkan abu dari tempurung kelapa sangat ringan. Hasil dari analisis XRD (*X-Ray Powder Diffraction*) dari abu tempurung kelapa ditunjukkan pada Gambar II.8. dan Tabel II.2. (Madakson, 2012).

Hasil XRD menunjukkan bahwa tempurung kelapa memiliki kandungan SiO_2 yang banyak. Tabel II.3. menunjukkan komposisi senyawa yang terkandung pada abu tempurung kelapa (Madakson, 2012).

Untuk hasil analisis SEM/EDS (*Scanning Electron Microscope/Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy*) dari abu tempurung kelapa dapat dilihat pada Gambar II.9. dimana ditunjukkan bahwa morfologi dari abu tempurung kelapa sebagian besar tersusun dari Si, C, O, Mg, Al, dan sebagian kecil dari Fe (Madakson, 2012).



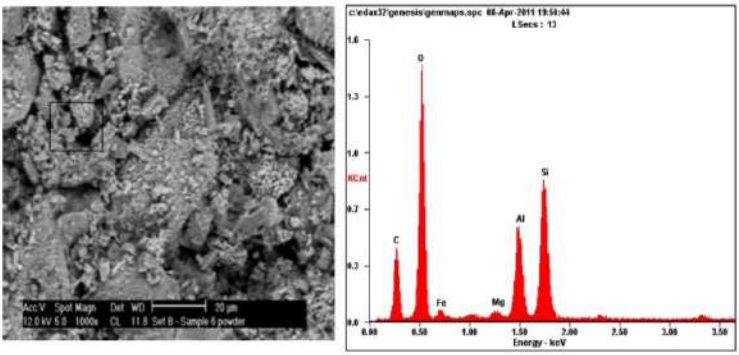
Gambar II.8. Hasil Analisis XRD dari *Coconut-Shell Ash*

Tabel II.2 Data Hasil Analisis dari *Coconut-Shell Ash*

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th]	Scale Factor	Chemical Formula
*	00-043-0596	44	Silicone Oxide	0,000	0,912	$Si\ O_2$
*	00-013-0294	32	Cordierte, syn	0,000	0,590	$Mg_2\ Al_4\ Si_5\ O_{18}$
*	01-089-1961	26	Quartz low, dauphinee-twinned	0,000	0,642	$Si\ O_2$
*	01-075-1541	16	Moissanite 6\ITH\RG	0,000	0,207	Si C

Tabel II.3. Hasil Analisis XRF (*X-Ray Fluorescence*) dari Abu Tempurung Kelapa

Komponen	Persentase (%)
Al_2O_3	15,6
CaO	0,57
Fe_2O_3	12,4
K_2O	0,52
MgO	16,2
Na_2O	0,45
SiO_2	45,05
MnO	0,22
ZnO	0,3



Gamber II.9. Hasil Analisa SEM/EDS dari abu tempurung kelapa

II.3.3.2. Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa

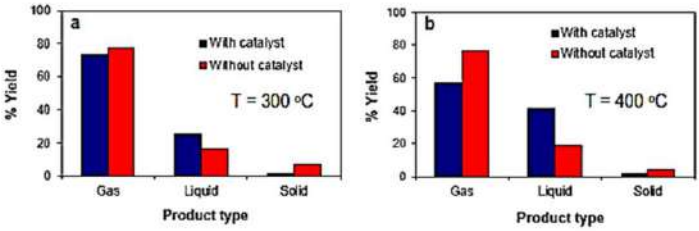
Karbon aktif dapat diproduksi dari bahan baku yang memiliki karbon yang berbeda seperti *lignite*, gambut, batu bara, dan sumber daya biomassa seperti kayu, serbuk gergaji, *bagasse*, dan tempurung kelapa. Oleh karena banyaknya persediaan tempurung kelapa sebagai limbah dari minyak kelapa dan industri kelapa kering, produksi karbon aktif dari bahan ini lebih baik dalam segi ekonomi karena biji-bijian atau batubara jika digunakan

sebagai bahan baku karbon aktif sangat tidak ekonomis. Karbon aktif dari tempurung kelapa sangat menguntungkan karena memiliki kerapatan dan kemurnian yang tinggi, serta hampir tidak ada abu didalamnya. Karbon ini lebih keras dan lebih tahan terhadap gesekan.

Produksi karbon aktif bisa dibuat dengan aktivasi fisika atau kimia. Pada aktivasi fisika, material tersebut dikarbonisasi di bawah atmosfir inert, kemudian diaktifkan pada suhu tinggi dengan menggunakan uap atau karbon dioksida sebagai pereaksi pekatifan sementara.

Dalam kebanyakan kasus, aktivasi kimia lebih disukai daripada aktivasi fisika karena umumnya hasilnya akan menurun karena kehilangan massa akibat oksidasi. Selain itu, aktivasi kimia membuat hasil menjadi lebih tinggi dan luas permukaannya lebih besar, juga memerlukan biaya operasi dan energi yang lebih rendah karena suhu yang digunakan lebih rendah (Gratuito, 2007).

Katalis karbon aktif berbahan dasar tempurung kelapa digunakan sebagai pemicu dari transfer panas dan *thermal cracking* pada proses pirolisis, sebagai contoh yaitu pirolisis gliserol. Pada Gambar II.10 ditunjukkan *yield* produk yang dihasilkan pada suhu 300°C dan 400°C, serta perbandingan saat menggunakan dan tanpa katalis. Secara umum, penambahan katalis pada proses pirolisis mampu meningkatkan *yield* produk cair dan menurunkan *yield* produk gas. Pada suhu 300°C, penggunaan katalis menurunkan *yield* produk gas sebanyak 4,2%. Akan tetapi, dapat meningkatkan *yield* produk cair hingga 9,2%. Kenaikan suhu juga menurunkan *yield* produk gas sampai 19% serta meningkatkan *yield* produk cair sampai 22%. Produk padat juga mengalami penurunan jumlah pada kedua suhu dengan penurunan sampai 5%. Fungsi dari katalis ini untuk meningkatkan perpindahan panas dan memicu proses *thermal cracking* agar bahan dapat terurai dengan sempurna dan produk padat menjadi lebih sedikit (Swee Kim Leong, 2016).



Gambar II.10 (a) Yield Proses Pirolisis Gliserol pada 300 °C
(b) Yield Proses Pirolisis Gliserol pada 400 °C

II.3.3.3. Proses Aktivasi Katalis Karbon Aktif

Proses aktivasi karbon aktif secara fisika terdiri dari karbonisasi dengan suhu 650°C di dalam *furnace* tertutup selama dua jam dengan metode sebagai berikut:

1. Tempurung kelapa dibersihkan terlebih dahulu dari daging dan serabut kelapa.
2. Tempurung kelapa yang sudah bersih dijemur selama 24jam.
3. Pembakaran tempurung kelapa yang telah dijemur di dalam *furnace* pada suhu 650°C selama dua jam.
4. Penumbukan tempurung kelapa yang telah dikarbonisasi.
5. Perendaman tempurung kelapa di dalam larutan $ZnCl_2$ selama 8 jam untuk mengaktivasi karbon.
6. Karbon yang telah aktif direndam kembali secara berurutan di dalam larutan HCl (0,1 M), NaOH (1 M), dan larutan ammonia masing-masing selama 8 jam.
7. Karbon aktif dibakar di dalam *furnace* dengan suhu 700°C selama dua jam untuk meningkatkan porositas dari karbon aktif.
8. Karbon dicuci dengan air suling dan dikeringkan di dalam *oven* dengan suhu 110°C selama dua jam
9. Karbon aktif disimpan di dalam wadah yang kering.

(Sodeinde, 2012)

II.3.3.4. Karakteristik Katalis Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa

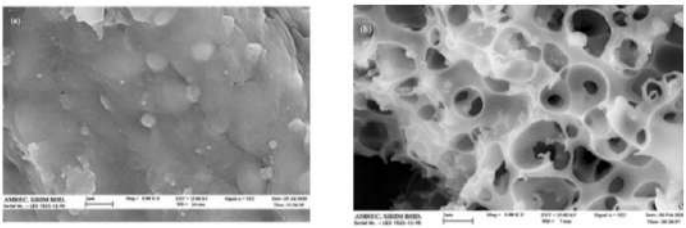
Tabel II.4. menunjukkan bahwa limbah tempurung kelapa memiliki komposisi karbon yang tinggi, serta sangat berpotensi untuk dijadikan karbon aktif. Persentase karbon meningkat secara signifikan setelah karbonisasi dan aktivasi menjadi karbon aktif tempurung kelapa (Iqbaldin, 2013).

Tabel II.4. Analisa *Proximate* dan *Ultimate* dari Tempurung Kelapa / *Coconut Shell* (CS), *Coconut-Shell Carbon* (CSC), *Coconut -Shell Activated Carbon* (CSAC)

Analysis		CS	CSC	CSAC
		Proximate		
Volatile matter	(%)	77,82	48,25	28,46
Fixed carbon	(%)	21,38	50,55	69,49
Ash content	(%)	0,8	1,20	2,05
		Ultimate		
Carbon	(%)	49,62	64,87	80,13
Hydrogen	(%)	7,31	4,66	2,36
Nitrogen	(%)	0,22	0,84	1,10
Sulphur	(%)	0,10	0,09	0,06
Oxygen	(%)	42,75	29,54	16,35

Hasil dari SEM *micrographs* (Gambar II.11.) antara CSC dan CSAC menunjukkan perbedaan yang sangat jauh pada morfologi permukaannya. Pada proses karbonisasi, bahan yang paling mudah menguap akan terlepas. Namun, tidak ada pori yang terbentuk sebelum diaktivasi. Meskipun demikian, pada CSAC ditemukan adanya lubang berongga, hal itu bergantung pada jumlah materi

yang mudah menguap dan dihilangkan, serta dampak dari penggunaan *activating agent* pada material karbon. Pori yang dikembangkan saat aktivasi karbon diklasifikasikan menjadi tiga kelompok, yaitu mikropori (< 2 nm), mesopori (2 – 50 nm), dan makropori (> 50 nm). Pada Tabel II.5. ditunjukkan bahwa suhu aktivasi meningkan sejalan dengan bertambahnya waktu penyinaran. Luas permukaan dari CSAC lebih besar dari CSC. Pengaktifan kimiawi meningkatkan porositas dari permukaan CSAC hingga 1786,8 m^2/g dibandingkan dengan CSC yang hanya memiliki luas permukaan 36,5 m^2/g. hal ini membuktikan bawa proses aktivasi berhasil meningkatkan luas permukaan serta porositas dari turunan bahan organik yang telah dikarbonisasi (Iqbaldin, 2013).



(a) (b)

Gambar II.11. Hasil Morfologi SEM dari tempurung kelapa: (a) sebelum aktivasi; (b) setelah aktivasi

Tabel II.5. Luas Permukaan dan Ukuran Pori CSC dan CSAC dengan Waktu Radiasi *Microwave* yang berbeda

Sample (Time)	Detected Suhue (°C)	Surface Area (m^2 g^{-1})	Pore Size (nm)
CSAC 10 min	530	1244,0	2,3
CSAC 15 min	577	1311,1	2,5
CSAC 20 min	635	1768,8	2,7
CSAC 25 min	702	1536,2	2,8
CSAC 30 min	744	1399,8	2,9
CSC 20 min	399	36,5	3,7

II.4. Hasil yang Diharapkan

Secara umum, senyawa penyusun produk cair dikelompokan menjadi 4 kelompok, yaitu : *Cycloparaffin*, n-*Paraffin*, Olefin, dan Aromatik. Kelompok senyawa penyusun memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing sebagai penyusun bahan bakar cair diantaranya :

1. *Cycloparaffin*, merupakan senyawa siklis yang jenuh dan tidak reaktif sehingga kadar senyawa ini dalam bahan bakar sangat baik dan mampu meningkatkan nilai oktan pada bahan bakar.
2. n-*Paraffin*, merupakan senyawa hidrokarbon jenuh berantai lurus (alkana/C_nH_{2n+2}) yang mempunyai keunggulan, yaitu kurang reaktif (susah bereaksi) tetapi dapat terbakar ketika mencapai titik bakarnya. *Paraffin* mempunyai *flash point* 73 – 160°C.
3. Olefin, merupakan kelompok senyawa hidrokarbon tidak jenuh, C_nH_{2n} yang cenderung tidak stabil sehingga kadarnya harus dibatasi karena dapat mempengaruhi kualitas bahan bakar.
4. Aromatik, merupakan senyawa hidrokarbon tak jenuh yang berantaikan gugus benzene (C_6H_6). Senyawa aromatik yang terlalu tinggi dari bahan bakar juga tidak diperbolehkan karena sifat senyawa tersebut yang memiliki titik nyala rendah akan mempengaruhi besarnya tekanan yang diberikan sebelum bahan bakar tersebut terbakar secara spontan. Senyawa aromatik juga bersifat racun dan karsinogenik sehingga berbahaya bagi lingkungan dan kesehatan.

Dari keterangan diatas, dapat disimpulkan bahwa kandungan utama yang diinginkan pada produk cair adalah *paraffin* dan *cycloparaffin*. Oleh karena itu, untuk mengetahui kandungan hidrokarbon tersebut, dilakukan analisa GC-MS (*Gas Chromatography – Mass Spechtometry)*.

Produk gas dari proses pirolisis merupakan fraksi ringan hasil degradasi plastik PP menjadi senyawa hidrokarbon yang lebih

sederhana melalui proses kondensasi namun tidak terkonden karena fraksi ringan memiliki *dew point* yang lebih rendah dari suhu kondensasi.

Spesifik produk gas yang diinginkan adalah metana, dikarenakan metana merupakan salah satu sumber energi atau bahan bakar yang ada berlimpah dan ada di alam seperti gas alam, biogas, gas *landfill*, dan sebagainya. (Bhoje, 2013)

Untuk mengetahui kandungan metana, digunakan analisa GC (*Gas Chromatography*). Sehingga, semakin banyak jumlah metana hasil produksi menunjukan proses yang semakin baik.

II.5. Penelitian Terdahulu

Berikut merupakan daftar penelitian-penelitian terdahulu, antara lain:

1. Penelitian berjudul "*Pyrolysis of Virgin and Waste Polypropylene and Its Mixtures with Waste Polyethylene and Polystyrene*" yang ditulis oleh Nilgun Kiran Ciliz, Ekrem Ekinci, dan Coling E. Snape dipublikasikan pada ELSEVIER Waste Management 24 (2004) halaman 173-181 merupakan penelitian untuk mengetahui perbandingan hasil pirolisis dari plastik PP yang masih baru, limbah PP, dan PP yang sudah dicampur dengan PE dan PS. Hasil dari penelitian ini yaitu *impurities* pada limbah PP menghaslkan lebih banyak gas yang memungkinkan terjadinya *cracking* pada molekul gas tersebut. PP yang masih baru dan limbah PP memiliki *yield* yang paling tinggi. Komposisi C_{20-24} pada limbah PP sama semperti komposisinya pada PP yang dicampur dengan PE. Banyaknya komposisi C_{7-11} dan C_{25+} pada hasil dari PP yang dicampur dengan PE jumlahnya sama. Umumnya, persentase *yield* gas, termasuk monomer *propene*, berkurang karena *impurities*-nya. Penambahan PP pada pencampuran limbahnya mengakibatkan peningkatan rasio C_2 dan C_3 pada *alkene*/*alkane*.

2. Penelitian berjudul "*A Review on Pyrolysis of Plastic Wastes*" yang ditulis oleh Shafferina Dayana Anuar Sharuddin, Faisal Abnisa, Wan Mohd Ashri Wan Daud, dan Mohamed Kheireddine Aroua dipublikasikan pada ELSEVIER Energy Conversion and Management Vol. 115 (2016) halaman 308-326 merupakan penelitian untuk mengetahui komposisi *yield* dari beberapa macam plastik dengan berbagai macam reaktor dan parameter proses seperti suhu, tekanan, waktu, dan *rate* pemanasan. Hasil dari penelitian ini ditunjukkan PET yang menggunakan reaktor *fixed bed* memiliki yield produk cair sebesar 23,1% dan gas 76,9% serta tidak ada produk padatan. Untuk plastik HDPE yield cair paling tinggi didapatkan dengan reaktor tipe *semi-batch*, yield gas tertinggi pada reaktor *fluidized bed*, dan *yield* padatan tertinggi pada reaktor *batch*. Plastik PVC mendapatkan yield cair dan gas tertinggi dengan penggunaan reaktor *fixed bed* dan padatan tertinggi dengan penggunaan reaktor *vacuum batch*. Plastik LDPE mendapatkan *yield* cair tertinggi dengan penggunaan reaktor *fixed batch*, *yield* gas tertinggi dengan penggunaan reaktor *fluidized bed*, dan *yield* padatan tertinggi dicapai dengan penggunaan reaktor *batch*. Pada pirolisis plastik PP, *yield* produk cair mencapai nilai tertinggi dengan penggunaan reaktor *semi-batch*, *yield* produk gas tertinggi dicapai pada penggunan reaktor *batch* dengan suhu operasi 740°C, dan produk padatan tertinggi dihasilkan pada penggunaan reaktor *batch* dengan suhu operasi 380°C.
3. Penelitian berjudul "Pengaruh Penggunaan Katalis Zeolit Alam pada Pengolahan Limbah Plastik *Multilayer* LDPE (*Low Density Polyethylene*) dengan Menggunakan Metode Pirolisis *Microwave*" merupakan skripsi yang ditulis oleh Dana Husin Satria dan Pandu Jati Ramadhan pada tahun 2016 dari Teknik Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Penelitian ini merupakan pengolahan limbah

plastik LDPE (*Low Density Polyethylene*) dengan metode pirolisis menggunakan suhu operasi 550°C dan waktu operasi 90 menit dengan metode pirolisis *microwave* menggunakan katalis zeolit alam menghasilkan *yield* padat sebesar 2,88%, *yield* cair sebesar 28,12%, dan *yield* gas sebesar 40%.

4. Penelitian berjudul "Pengolahan Sampah Plastik dengan Metoda Pirolisis Menjadi Bahan Bakar Minyak" merupakan skripsi yang ditulis oleh Endang K., Mukhtar G., Abed Nego, dan F.X. Angga Sugiyana pada tahun 2016 dari Teknik Kimia UPN "Veteran" Yogyakarta. Penelitian ini merupakan pengolahan limbah plastik *polypropylene* dan *low density polyethylene* menggunakan metode pirolisis dengan katalis zeolit dalam reactor *semi batch* selama 60 menit dengan berbagai variable suhu. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa minyak hasil pirolisis terbanyak dari sampah plastik *polypropylene* diperoleh pada suhu 400°C, sedangkan sampah plastik LDPE diperoleh pada suhu 300°C. Nilai densitas minyak hasil kedua pirolisis tersebut mendekati nilai densitas dari minyak tanah dan solar. Nilai viskositas minyak keduanya mendekati nilai viskositas bensin, nilai kalor minyaknya mendekati nilai kalor solar.
5. Penelitian berjudul "Pengolahan Sampah Plastik Jenis PP, PET, dan PE Menjadi Bahan Bakar Minyak dan Karakteristiknya" yang ditulis oleh Untoro Budi Surono dan Ismanto dipublikasikan pada Jurnal Mekanika dan Sistem Termal (JMST) Vol. 1(1) tahun 2016 halaman 32-37 merupakan pengolahan sampah plastik dengan metode pirolisis selama 2 jam pada suhu 450°C menggunakan plastik PP, PET, dan PE. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa plastik PP menghasilkan minyak paling banyak dengan kebutuhan LPG paling sedikit dan waktu proses paling cepat, plastik PET tidak menghasilkan minyak tetapi menghasilkan material berbentuk serbuk, minyak

dari plastik PP memiliki nilai kalor yang tinggi, lebih tinggi dari nilai kalor solar, bensin, LPG, maupun minyak tanah, minyak yang dihasilkan oleh plaastik PP dan PE berdasarkan kandungan atom karbonnya mendekati bensin dan minyak tanah.

6. Penelitian berjudul "Pengolahan Limbah Plastik *High Density Polyethylene* dengan Metode Pirolisis *Microwave* dan Menggunakan Katalis Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa Untuk Menghasilkan Bahan Bakar Alternatif" merupakan skripsi yang ditulis oleh Muhammad Abdillah dan Mohamad Iqbal Hisbullah pada tahun 2017 di Teknik Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Penelitian ini merupakan penelitian yang mengolah limbah plastik *high density polyethylene* menggunakan metode pirolisis dengan variabel rasio antara katalis dan plastik LDPE, suhu, serta waktu operasi. Dari hasil penelitian, hasil terbaik didapatkan pada rasio plastik HDPE : jumlah katalis = 1:1, suhu 400°C, dan waktu operasi 45 menit dengan metode pirolisis *microwave* menggunakan katalis karbon aktif dari tempurung kelapa menghasilkan *yield* cair dan gas sebesar 99,22%, *yield* residu sebesar 0,78%, kadar komposisi produk cair (*cycloparaffin* dan n-paraffin) sebesar 54,09%, dan konsentrasi gas metana yang dihasilkan sebesar 10,2%.
7. Penelitian berjudul "Pemanfaatan Sampah Plastik LDPE dan PET Menjadi Bahan Bakar Minyak dengan Proses Pirolisis" merupakan skripsi yang ditulis oleh Didik Iswadi, Fatmi Nurisa, Erlina Liastuti dipublikasikan pada Jurnal Ilmiah Teknik Kimia UNPAM, Vol. 1 No. 2 tahun 2017 merupakan penelitian pengolahan limbah plastik LDPE dan PET menggunakan metode pirolisis selama 2 jam dengan suhu 250°C dan tekanan 2 bar. Dari penelitian ini, didapatkan densitas minyak hasil pirolisis LDPE dan PET mendekati nilai densitas dari minyak tanah, viskositas minyak keduanya termasuk ke dalam jenis minyak tanah.

Nilai kalor minyak hasil pirolisis dengan LDPE mendekati nilai kalor dari minyak diesel, sedangkan dari PET mendekati nilai kalor minyak tanah.

8. Penelitian berjudul "*The Production of Fuel Oil by Conventional Slow Pyrolysis Using Plastic Waste from a Municipal Landfill*" yang ditulis oleh Chumsanti Santaweesuk da Adun Janyalertadun dipublikasikan pada International Journal of Environmental Science and Development, Vol. 8, No. 3, tahun 2017 merupakan penelitian untuk mengetahui *yield* produk cair dari pirolisis konvensional beberapa jenis plastik. Hasil penelitian ini menunjukkan plastik PP menghasilkan 80%, plastik LDPE menghasilkan 73%, plastik HDPE menghasilkan 70%, dan plastik dari campuran ketiga bahan tersebut menghasilkan 46% produk bahan bakar cair. Produk cair yang dihasilkan ini mirip dengan minyak *petroleum diesel*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

III.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan di Laboratorium Pengolahan Limbah Industri, Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS) pada bulan Februari sampai Juni 2018.

III.2. Bahan dan Alat Penelitian

III.2.1. Bahan Penelitian

Bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah limbah plastik *polypropylene* (PP) dan katalis karbon aktif berbahan dasar tempurung kelapa.

III.2.2. Alat Penelitian

Alat yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah *furnace*, *beaker glass*, gelas ukur, pengaduk kaca, nampan, kontainer kering, labu leher dua (reaktor), *temperature indicator*, *thermo couple*, *outlet neck*, *microwave*, kondensor, *conical flask*, *vacuum pump* dan *gas sampling bag.*

III.3. Kondisi Operasi dan Variable Penelitian

III.3.1. Kondisi Operasi

1. Pengaktifan Katalis
   a. Massa karbon tempurung kelapa : 1 kg
   b. Pembakaran
      Suhu : 700°C
      Waktu : 2 jam
   c. Pengeringan
      Suhu : 110°C
      Waktu : 2 jam

2. Proses Pirolisis
   a. Massa bahan baku (PP) : 30 gram
   b. Tekanan : 1 atm (atmosfer)
   c. Volume total reaktor : 500 mL
   d. Ukuran bahan (PP) : 0,5 cm x 0,5 cm

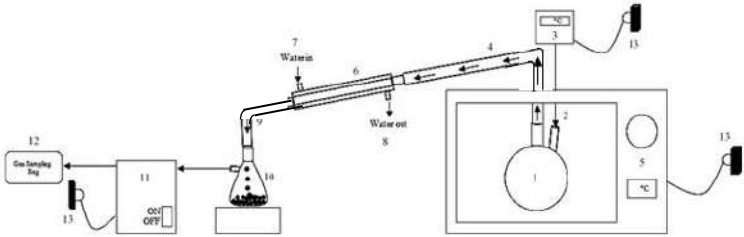
III.3.2. Variabel Penelitian

1. Rasio Campuran PP : Katalis (w/w)= 10:1 dan 10:2
2. Suhu (°C) = 230. 250, 275, dan 300
3. Waktu (menit) = 10 dan 15

III.4. Tahapan Metodologi Penelitian

III.4.1. Perangkaian Alat

Pada penelitian ini, menggunakan alat pirolisis dengan *microwave heating* dengan rangkaian alat ditunjukkan oleh Gambar III.1.



Gambar III.1. Rangkaian alat pirolisis dengan *microwave heating*

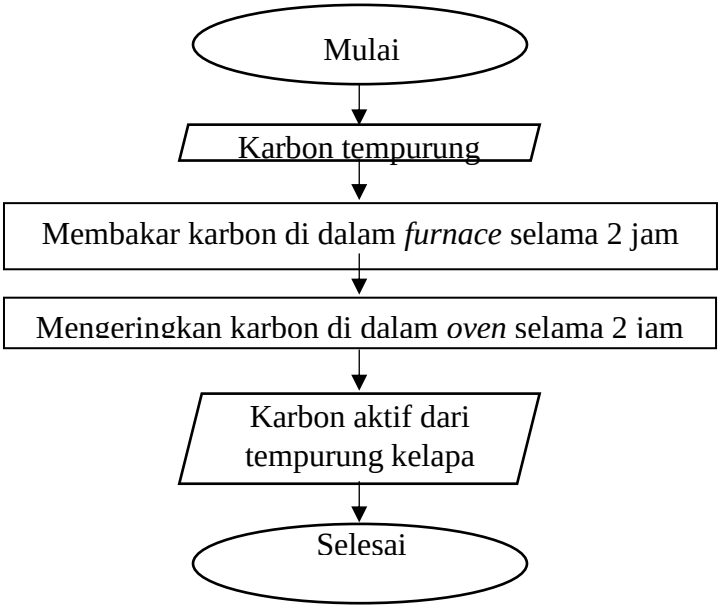
Keterangan gambar:

1. Labu leher dua (reaktor)
2. *Neck* untuk *thermo couple*
3. *Temperature indicator*
4. *Connector* menuju kondensor
5. *Microwave*
6. Kondensor

7. *Inlet* air pendingin
8. *Outlet* air pendingin
9. *Connector* menuju labu penyimpanan produk
10. Labu penyimpanan produk
11. *Vacuum pump*
12. *Gas sampling bag*
13. *Stop contact*

III.4.2. Aktivasi Katalis Karbon dari Tempurung Kelapa

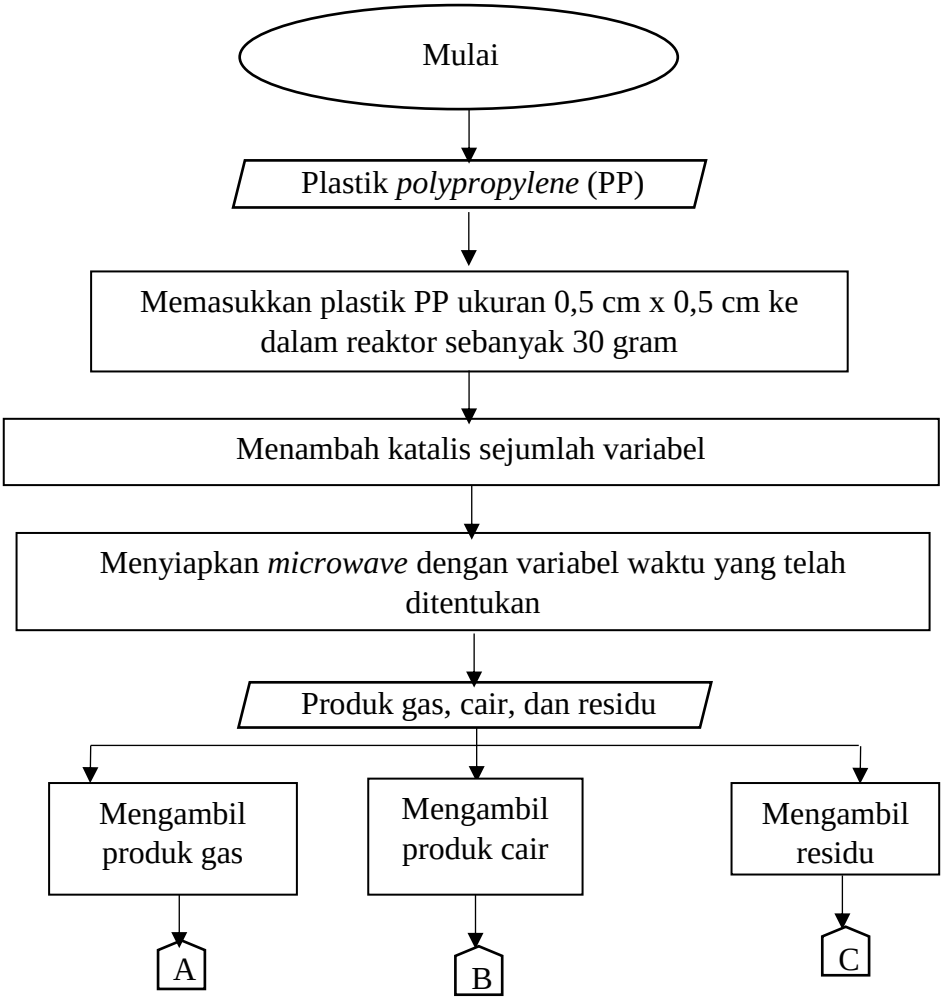
Oleh karena katalis yang tersedia sudah dalam bentuk karbon, katalis ini hanya perlu diaktifkan kembali dengan proses karbonisasi. Tahapan proses aktivasi kembali katalis pada penelitian ini seperti ditunjukkan pada Gambar III.2.

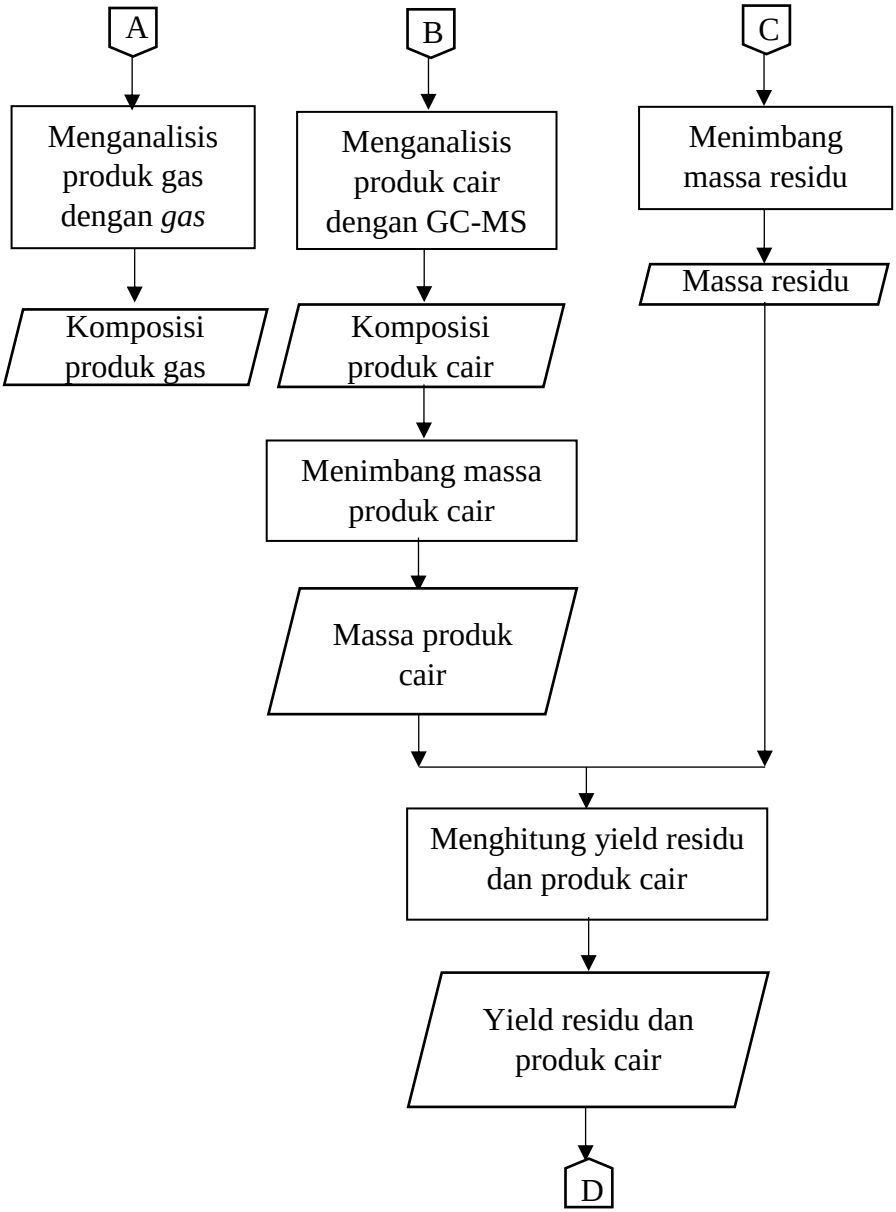


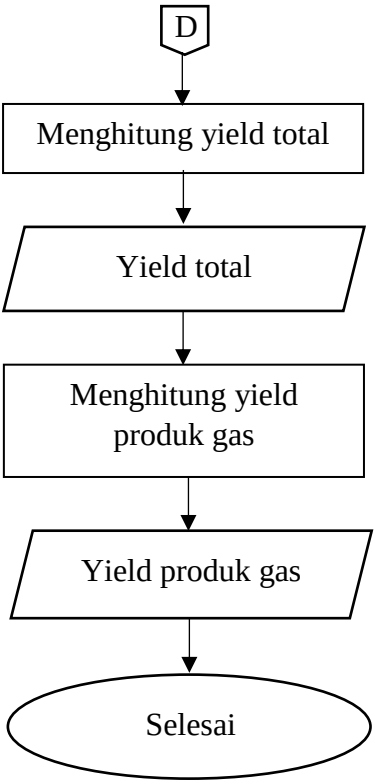
Gambar III.2. Metode Pengaktifan Katalis Karbon dari Tempurung Kelapa

III.4.3. Pirolisis

Proses utama dari penelitian ini adalah proses pirolisis menggunakan *microwave*. Alat yang digunakan untuk proses ini sesuai dengan yang ditunjukkan pada Gambar III.1. Adapun tahapan proses pirolisis ini ditunjukkan pada Gambar III.3.




A
B
C
Menganalisis produk gas dengan *gas*
Menganalisis produk cair dengan GC-MS
Menimbang massa residu
Massa residu
Komposisi produk gas
Komposisi produk cair
Menimbang massa produk cair
Massa produk cair
Menghitung yield residu dan produk cair
Yield residu dan produk cair
D



Gambar III.3. Proses pirolisis PP dengan Metode *Microwave Heating*

III.5. Analisis Hasil

III.5.1. Analisis Kandungan dan Morfologi Katalis Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa dengan Menggunakan SEM-EDX (*Scanning Electron Microscope Energy Dispersive X-ray spectroscopy*)

EDX memanfaatkan spektrum sinar-X yang dipancarkan oleh sinar elektron terhadap sampel padat untuk mengetahui kandungan kimiawi dalam sampel tersebut. Semua elemen dari nomor atom 4 (Be) hingga 92 (U) dapat terdeteksi, meskipun tidak

semua instrument untuk elemen 'ringan' (Z <10). Analisa kualitatif melibatkan identifikasi dalam spektrum dan cukup mudah dilakukan karena kesederhanaan spektrum sinar-X. Analisis kuantitatif (penentuan konsentrasi unsur-unsur yang ada) memerlukan pengukuran intensitas garis pada setiap elemen dalam sampel dan elemen yang sama dalam standar kalibrasi komposisi yang diketahui. Dengan memindai berkas dan menampilkan intensitas garis *X-ray* yang dipilih, gambar distribusi elemen atau 'letak' dapat dihasilkan. Selain itu, gambar yang dihasilkan oleh elektron menghasilkan morfologi permukaan atau perbedaan nomor atom rata-rata sesuai dengan mode yang dipilih.

Scanning Electron Microscope (SEM), dirancang untuk menghasilkan gambar electron dan digunakan untuk pemetaan elemen, serta analisis titik jika spektroskopi sinar-X ditambahkan. Dengan demikian terdapat tumpang tindih yang cukup besar dalam fungsi instrumen-instrumen ini.

(https://cfamm.ucr.edu/documents/eds-intro.pdf)

III.5.2. Analisis *Surface Area* Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa menggunakan BET (*Brunauer, Emmet, and Teller*)

Surface area biasanya dianalisa menggunakan metode BET yang diperoleh dengan menerapkan teori *Brunauer, Emmett,* dan *Teller,* yakni isotermis adsorpsi nitrogen yang diukur pada 77 K. BET merupakan prosedur standar yang memungkinkan perbandingan antara material yang berbeda dengan literatur. Namun, metode BET bergantung pada beberapa asumsi yang dapat memecah material mikro menjadi struktur yang sangat terbuka dan area permukaan ultrahigh. Analisis BET mengasumsikan bahwa adsorpsi terjadi oleh pembentukan multilayer dan jumlah lapisan yang teradsorpsi tidak terbatas pada tekanan saturasi, sehingga, adsorpsi terjadi seolah-olah pada permukaan bebas.

III.5.3. Analisis Kandungan Gas dengan Menggunakan GC (*Gas Chromatography*)

Gas Chromatography adalah teknik yang unik dan serbaguna. Dalam tahap awal pengembangannya diterapkan pada analisis gas dan uap dari komponen yang sangat mudah menguap. Campuran yang dipisahkan dan dianalisis oleh GC dapat berupa gas, cair, atau padat. Sebelum memulai metode GC, penting untuk mengetahui kandungan dalam sampel. Pemilihan metode yang digunakan bergantung pada sifat sampel (molekul *volatile* atau *nonvolatile*), berat molekul, kelarutan dan titik leburnya. Informasi penting mengenai sampel yang harus diketahui sebelumnya yaitu status agregasi, komposisi sampel (analit, matriks, pelarut), dan sifat-sifat yang relevan dengan GC, seperti rentang titik didih, polaritas, gugus fungsi, kelarutan, reaktivitas, stabilitas pada suhu kamar. Penanganan khusus diperlukan jika diketahui sampel mengandung komponen panas atau kimia labil, zat agresif (asam, basa), air atau residu nonvolatil, dan mengandung zat berbahaya (Bhardwaj, 2016).

Pada penelitian ini, kolom yang digunakan adalah Rt-Qbond dengan gas pembawa N_2 yang memiliki tekanan 126,7 kPa, aliran total 43,3 mL/min, aliran kolom 1,92 mL/min, kecepatan linier 41,6 cm/sec, *purge flow* 3 mL/min, dan *split ratio* 20. Kolom yang digunakan memiliki kondisi operasi dengan suhu 50ºC dan waktu keseimbangan selama 3 menit. Suhu injeksi adalah 200ºC dengan *sampling rate* 400 msec dan *stop time* 5 menit.

III.5.4. Analisis Kandungan Bahan Bakar Alternatif dengan Menggunakan GC-MS (*Gas Chromatography – Mass Spectrometry*)

GC / MS merupakan kombinasi dari dua teknik analisis yang berbeda, *Gas chromatography* (GC) dan *Mass Spectrometry* (MS), yang digunakan untuk menganalisis campuran organik dan biokimia yang kompleks. Instrumen GC-MS terdiri dari dua komponen utama. *Gas chromatography* memisahkan senyawa yang berbeda dalam sampel menjadi bahan kimia murni

berdasarkan volatilitas mereka dengan mengalirkan gas pembawa (inert), yang membawa sampel, melalui fase diam yang tetap dalam kolom. Spektrum senyawa dikumpulkan ketika mereka keluar dari kolom kromatografi dengan spektrometer massa, yang mengidentifikasi dan mengkuantifikasi bahan kimia sesuai dengan rasio massa-muatan (m / z) (Hussain, 2014).

III.6. Pengolahan Data

Konversi dari plastik PP menjadi *liquid*, *solid* dan gas dapat dihitung dengan perhitungan sebagai berikut:

a. Menghitung % *yield* total

$$\%Yield\ \text{Total} = \frac{(\text{Massa Plastik} - \text{Massa Residu})}{\text{Massa Plastik}}$$

b. Menghitung % *yield liquid*

$$\%Yield\ Liquid = \frac{\text{Massa Liquid}}{\text{Massa Plastik}}$$

c. Menghitung % *yield* residu

$$\%Yield\ \text{Residu} = \frac{\text{Massa Residu}}{\text{Massa Plastik}}$$

d. Mengitung % *yield* gas

% *Yield* Gas = % *Yield* Total − (% *Yield Liquid* + % *Yield* Residu)

(Fazal Mabood, 2010)

III.7. *Timeline* Kegiatan Penelitian

Penelitian ini dilakukan sesuai timeline dibawah ini:

Tabel III.1. *Timeline* Kegiatan Penelitian

Rencana Kegiatan	Tahun 2018																			
	Februari				Maret				April				Mei				Juni			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Konstruksi Alat																				
Pembuatan Katalis																				
Penelitian																				
Analisis Hasil																				
Pembuatan Laporan																				

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

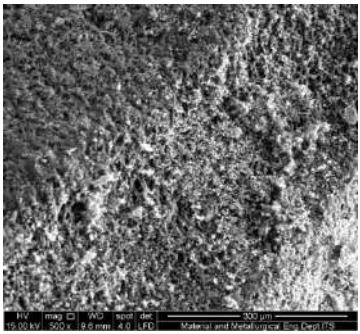
Penelitian ini menggunakan reaktor *batch* dengan pemanas dari gelombang elektromagnetik yang dihasilkan oleh *microwave*. Reaktor yang berupa labu leher dua ini diisi oleh plastik *polypropylene* yang sebelumnya telah dicacah dan katalis karbon aktif dari tempurung kelapa. Percobaan ini dilakukan dengan variabel rasio PP : Katalis (gram/gram) 10:1 dan 10:2. Suhu operasi yang digunakan 230-300°C dengan waktu percobaan pada 10 dan 15 menit. Produk yang dihasilkan berupa produk cair (minyak), gas (metana dan campurannya), dan residu (karbon aktif dan plastik yang tidak terdegradasi). Uap yang dihasilkan dari proses pirolisis dalam reaktor kemudian dikondensasi menggunakan kondensor yang akan menjadi produk cair. Sedangkan, gas yang tidak terkondensasi akan menjadi produk gas menggunakan *vacuum pump*. Residu yang dihasilkan dianalisa menggunakan SEM-EDX untuk mengetahui kandungan karbon dalam residu tersebut. Selain itu, produk cair dianalisa menggunakan GC-MS untuk mengetahui kandungan dalam produk cair tersebut. Sedangkan, produk gas dianalisa menggunakan GC untuk mengetahui kadar metana dalam gas tersebut.

IV.1 Analisis Katalis

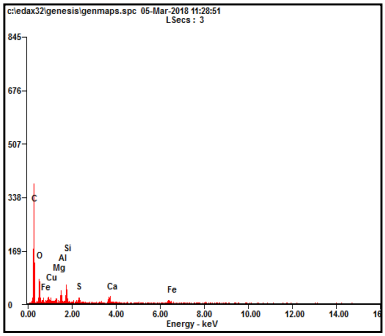
Untuk mengoptimalkan reaksi pirolisis plastik dan memodifikasi distribusi produk dari pirolisis, digunakan katalis. Salah satu tujuan utama penggunaan katalis adalah untuk memperpendek rantai karbon dan dengan demikian akan mengurangi titik didih produknya. Beberapa katalis diterapkan khusus untuk mengurangi hidrokarbon tak jenuh dan meningkatkan *yield* aromatik dan naften. Katalis dapat meningkatkan stabilitas dan *cetane number* dari produk cairnya secara signifikan. Pada penelitian ini, digunakan katalis berupa karbon aktif dari tempurung kelapa (Gao, 2010).

Meskipun secara umum penggunaan katalis akan menurunkan fraksi minyak dan residu serta meningkatkan fraksi gas, *yield* yang didapat juga bergantung pada suhu yang digunakan. Hal ini disebabkan karena fraksi minyak yang dihasilkan dari degradasi termal telah direngkah menggunakan katalis sehingga rantai panjang hidrokarbonnya dipotong menjadi rantai yang lebih pendek. Hal ini berakibat sebagian fraksi minyak dikonversi menjadi gas dengan rantai karbon yang lebih pendek (Syamsiro, 2015).

Katalis karbon aktif ini dianalisa menggunakan SEM-EDX untuk mengetahui kandungan yang ada dalam karbon aktif tersebut. Gambar IV.1. (a) diberikan morfologi dari karbon aktif pada perbesaran 1000x. Dapat dilihat bahwa karbon aktif memiliki banyak pori yang dapat membuat penyerapan energi menjadi merata. Kandungan dari karbon aktif ini diberikan pada Gambar IV.1. (b). Karbon aktif yang telah diaktivasi ini memiliki kandungan (dalam persen berat) C sebesar 46,53%, O 23,89%, Cu 5,3%, Mg 1,42%, Al 3,46%, Si 5,04%, Ca 5,34%, dan Fe 6,62%. Dapat disimpulkan bahwa karbon aktif dari tempurung kelapa mengandung unsur Al dan Si, sehingga layak untuk digunakan sebagai katalis pada pirolisis plastik. (Madakson, 2012)



(a)

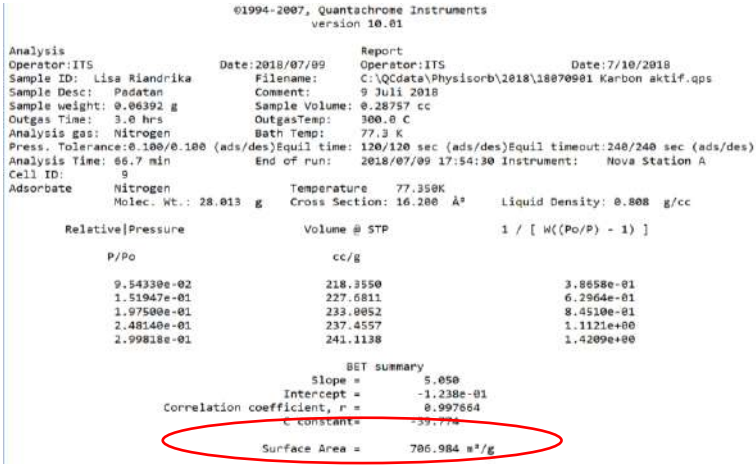


(b)

Gambar IV.1. (a) Morfologi Katalis dan (b) Kandungan pada Katalis

Selain itu, juga dilakukan analisa *surface area* untuk mengetahui keaktifan dari katalis karbon aktif dari tempurung kelapa (GSAC) dengan menggunakan uji BET (*Brunauer-Emmet-Teller*). Sehingga diperoleh hasil sebagai berikut :

Dari tabel II.5, diketahui bahwa luas permukaan karbon dari tempurung kelapa (CSC) sebesar 36,5 m^2/g (Iqbaldin, 2013) dan dari hasil analisis BET seperti pada gambar IV.2, luas permukaan pada karbon aktif dari tempurung kelapa (CSAC) yang digunakan pada penelitian ini sebesar 706,984 m^2/g. Hal tersebut menunjukkan bahwa katalis karbon aktif dari tempurung kelapa (CSAC) sudah aktif dengan luas permukaan yang meningkat hampir 20 kali lipat. Hal tersebut juga sesuai dengan jurnal Rizki (2014) yang mengatakan bahwa luas karbon aktif berkisar antara 300-3500 $m^2/$ g.



```
                    ©1994-2007, Quantachrome Instruments
                              version 10.01

Analysis                                        Report
Operator:ITS                Date:2018/07/09     Operator:ITS                Date:7/10/2018
Sample ID:  Lisa Riandrika      Filename:       C:\QCdata\Physisorb\2018\18070901 Karbon aktif.qps
Sample Desc:   Padatan          Comment:        9 Juli 2018
Sample weight: 0.06392 g        Sample Volume:  0.28757 cc
Outgas Time:   3.0 hrs          OutgasTemp:     300.0 C
Analysis gas:  Nitrogen         Bath Temp:      77.3 K
Press. Tolerance:0.100/0.100 (ads/des)Equil time: 120/120 sec (ads/des)Equil timeout:240/240 sec (ads/des)
Analysis Time: 66.7 min         End of run:     2018/07/09 17:54:30 Instrument:    Nova Station A
Cell ID:       9
Adsorbate      Nitrogen                 Temperature    77.350K
               Molec. Wt.: 28.013  g    Cross Section: 16.200  Å²     Liquid Density: 0.808  g/cc

        Relative|Pressure                Volume @ STP                1 / [ W((Po/P) - 1) ]

            P/Po                            cc/g

            9.54330e-02                   218.3550                        3.8658e-01
            1.51947e-01                   227.6811                        6.2964e-01
            1.97500e-01                   233.0052                        8.4510e-01
            2.48140e-01                   237.4557                        1.1121e+00
            2.99818e-01                   241.1138                        1.4209e+00

                                        BET summary
                                  Slope =          5.050
                              Intercept =         -1.238e-01
                   Correlation coefficient, r =    0.997664
                              C constant=         -39.774

                          Surface Area =        706.984 m²/g
```

Gambar IV.2 Hasil Analisis Katalis Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa (CSAC) Menggunakan BET

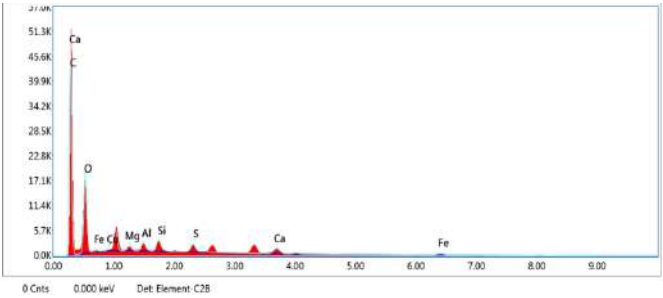
IV.2. Hasil yang Diperoleh

Penelitian ini menghasilkan dua jenis produk, yaitu produk fraksi berat (produk cair) dan fraksi ringan (produk gas). Produk cair dihasilkan dari hasil degradasi plastik yang merupakan fraksi

berat kemudian dikondensasi menggunakan air pendingin, sehingga fasa gas berubah menjadi cair. Sedangkan, produk gas yang dihasilkan merupakan hasil degradasi fraksi ringan yang tidak dapat terkondensasi.

Selain produk yang diharapkan, juga terdapat residu sisa percobaan. Residu ini merupakan sisa degradasi plastik PP berupa padatan yang tidak dapat diuapkan yang terdiri dari senyawa hidrokarbon.

Untuk residu, dilakukan analisa untuk variabel terbaik, yaitu pada waktu 15 menit, suhu 275 °C, dan jumlah katalis 3 gram (10:1) menggunakan EDX (*Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*). Seperti pada Gambar IV.3. diperoleh data residu tersusun atas 15,27% unsur C; 41,04% unsur Ca; 36,19% unsur O; 1,32% unsur Fe; 1,3% unsur Cu; 1,06% unsur Mg; 1,20% unsur Al; 1,42% unsur Si; dan 1,21% unsur S.



Gambar IV.3. Hasil Analisa Residu Menggunakan EDX

Residu yang tersisa seharusnya merupakan *free ash*. Sehingga hasil analisis unsur karbon yang terbaca adalah campuran dari karbon aktif dan residu. Namun berkurangnya kandungan karbon pada residu karbon aktif menunjukkan bahwa karbon pada karbon aktif ikut terdegradasi bersama karbon dari plastik, baik menjadi produk cair ataupun gas.

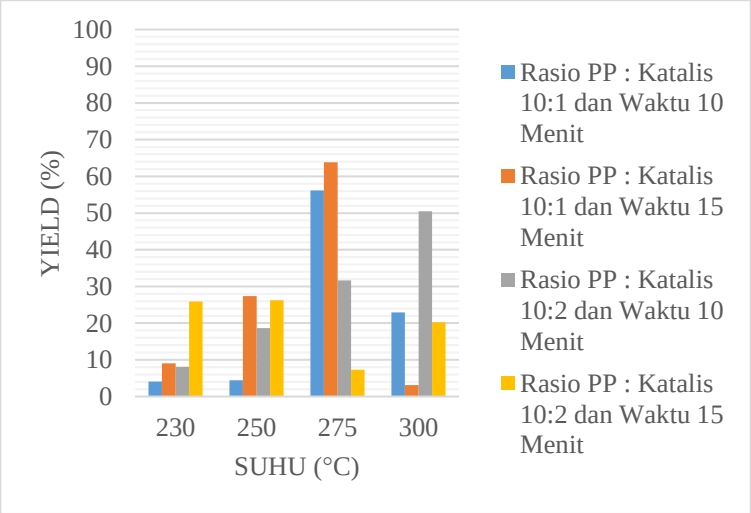
IV.3 Pengaruh Suhu Terhadap Hasil Pirolisis *Microwave*

Pada penelitian yang telah dilakukan, terdapat pengaruh suhu terhadap *yield* dari produk maupun residu dan pengaruh suhu terhadap komposisi senyawa. Sehingga, diperoleh data seperti berikut ini:

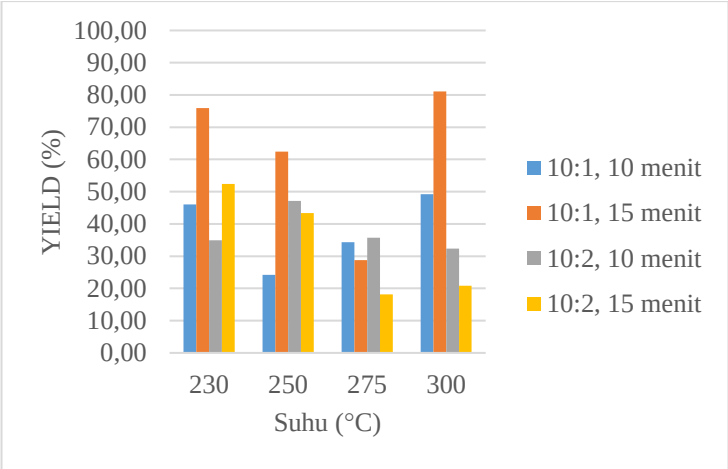
IV.3.1 Pengaruh Suhu Terhadap Yield

Hasil dari penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada gambar IV.4, gambar IV.5, dan gambar IV.6

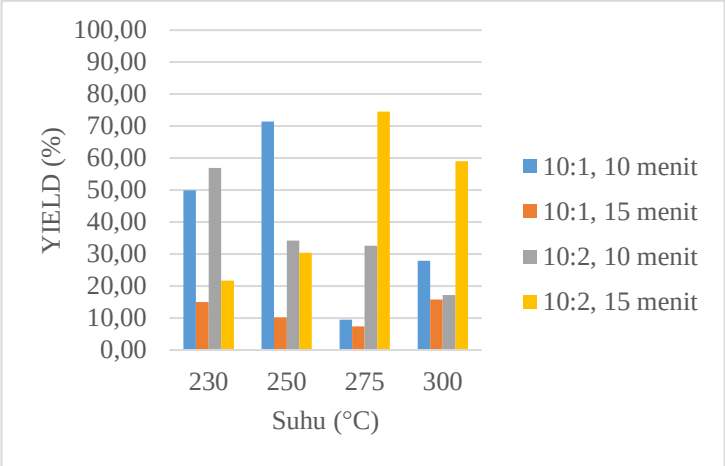
Dari gambar IV.4, dapat dilihat bahwa produk cair cenderung meningkat seiring dengan pertambahan suhu. Meningkatnya produk cair ini mengakibatnya berkurangnya produk gas seiring dengan pertambahan suhu (gambar IV.5). Namun, pada suhu 300 °C, *yield* produk cair mengalami penurunan, sedangkan yield produk gas mengalami peningkatan. Hal ini disebabkan oleh rekombinasi produk dari reaksi sekunder yang mengakibatkan lebih banyaknya pembentukan gas daripada produk cair (Panda, dkk, 2010).



Gambar IV.4. Pengaruh Suhu Terhadap *Yield* Produk Cair



Gambar IV.5. Pengaruh Suhu Terhadap *Yield* Produk Gas



Gambar IV.6. Pengaruh Suhu Terhadap *Yield* Residu

Sedangkan pada residu, dari gambar IV.6 didapatkan hasil bahwa semakin tinggi suhu operasi, semakin sedikit residu yang dihasilkan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi

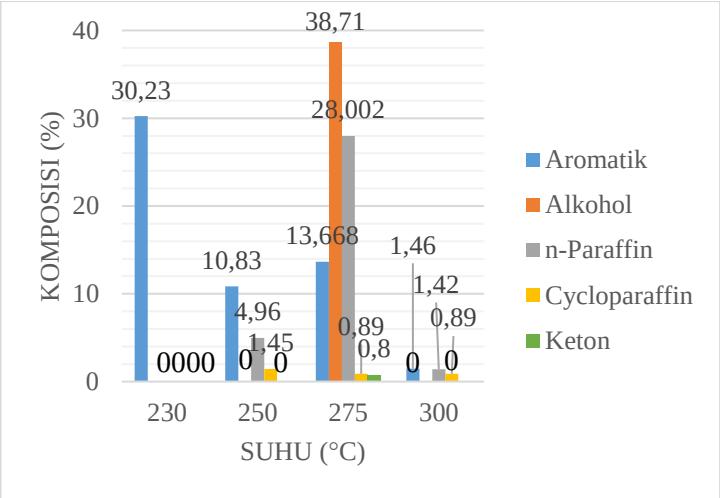
suhu, semakin banyak *yield* produk cair, semakin sedikit *yield* produk gas, dan semakin sedikit *yield* residu. Secara keseluruhan, suhu optimum untuk mendapatkan *yield* produk cair dan *yield* residu terbaik yaitu 275 °C, sedangkan suhu optimum untuk mendapatkan *yield* produk gas terbaik yaitu 300 °C.

IV.3.2 Pengaruh Suhu Terhadap Komposisi

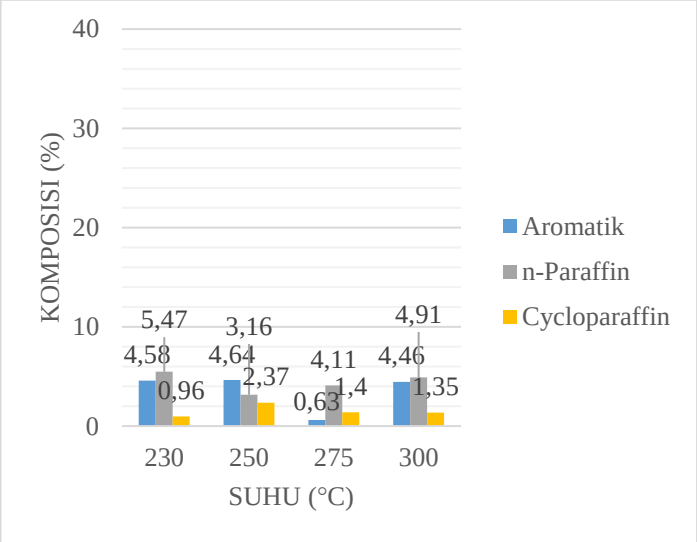
Pengaruh suhu terhadap komposisi dari produk cair dan produk gas dapat dilihat pada gambar IV.7, gambar IV.8, gambar IV.9, gambar IV.10, dan gambar IV.11. Gambar IV.7 merupakan pengaruh suhu terhadap komposisi produk cair untuk waktu 10 menit dengan rasio PP : Katalis 10:1 (gram PP : gram katalis). Komposisi *paraffin* meningkat seiring bertambahnya suhu, akan tetapi terjadi penurunan pada suhu 300°C, ini dikarenakan produk yang dihasilkan juga berkurang. Untuk komposisi *cycloparaffin* terjadi sebaliknya, yaitu berkurangnya kadar *cycloparaffin* pada setiap peningkatan suhu yang digunakan, kecuali pada suhu 230°C yang tidak terdapat senyawa tersebut. Hal ini dikarenakan pada suhu 230°C belum terbentuk senyawa *cycloparaffin*.

Untuk waktu 15 menit dengan rasio PP : Katalis 10:2 (gram PP : gram katalis) diberikan pada Gambar IV.8. Pada grafik ini terlihat semakin tinggi suhu yang digunakan, komposisi *paraffin* yang terdapat dalam produk cair juga semakin tinggi. Hal ini juga terjadi pada senyawa *cycloparaffin*, kecuali pada suhu 300°C yang tidak ada komponen tersebut. Hal ini juga dikarenakan sedikitnya produk cair yang dihasilkan pada suhu tersebut.

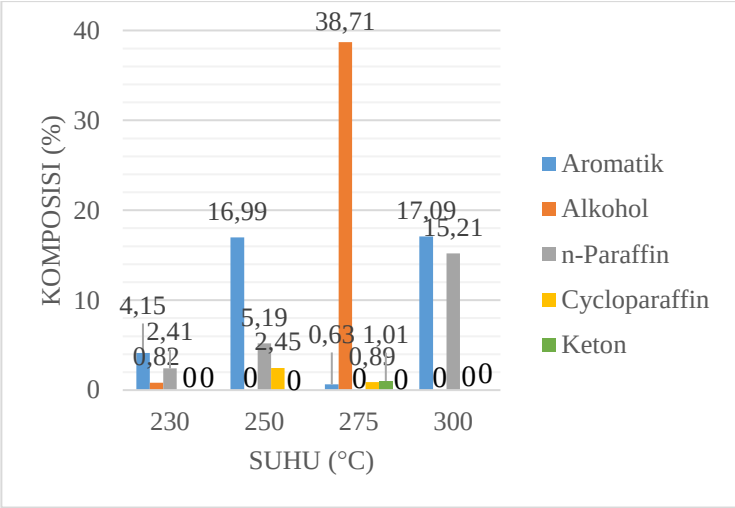
Peningkatan kadar *paraffin* dan *cycloparaffin* ini juga terjadi pada variabel dengan rasio PP : Katalis 10:2 dengan waktu 10 (Gambar IV.9.) dan 15 menit (Gambar IV.10.). Semakin tinggi suhu yang digunakan, kadar *paraffin* dan *cycloparaffin* akan meningkat. Kadar *paraffin* terbaik yang didapatkan yaitu pada suhu 275°C dengan rasio PP : Katalis (gram/gram) 10:1 dan waktu yang digunakan 10 menit, yaitu sebesar 28%.



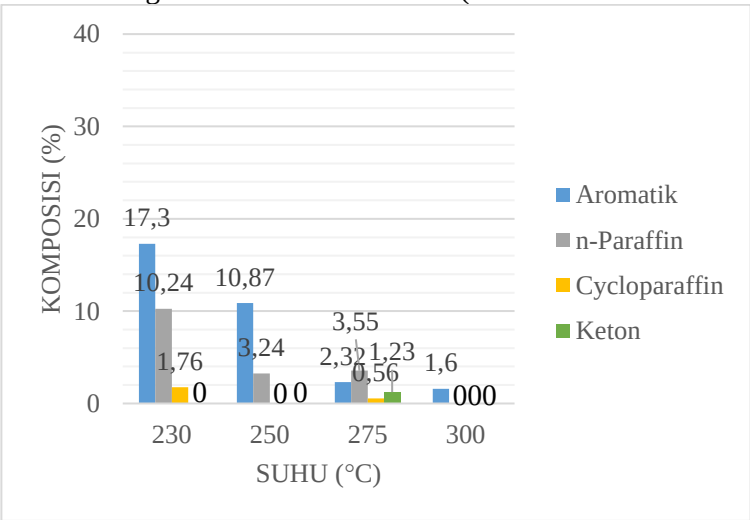
Gambar IV.7. Perbandingan Komposisi Setiap Suhu Pada Waktu 10 Menit dengan Rasio PP:Katalis 10:1 (Gram PP : Gram Katalis)



Gambar IV.8. Perbandingan Komposisi Setiap Suhu Pada Waktu 10 Menit dengan Rasio PP:Katalis 10:2 (Gram PP : Gram Katalis)



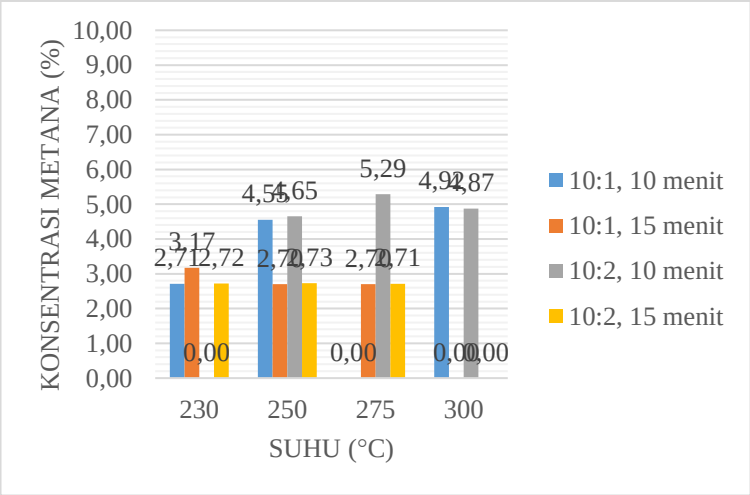
Gambar IV.9. Perbandingan Komposisi Setiap Suhu Pada Waktu 15 Menit dengan Rasio PP:Katalis 10:1 (Gram PP : Gram Katalis)



Gambar IV.10. Perbandingan Komposisi Setiap Suhu Pada Waktu 15 Menit dengan Rasio PP:Katalis 10:2 (Gram PP : Gram Katalis)

Sedangkan pengaruh suhu terhadap komposisi produk gas ditunjukkan oleh gambar IV.11. Dari gambar tersebut, dapat dilihat bahwa semakin tinggi suhu, semakin banyak konsentrasi metana pada produk gas, meskipun terjadi penurunan sampai 0% pada suhu 300 °C. Hal ini dikarenakan semakin tinggi suhu operasi semakin besar energi yang diberikan untuk degradasi plastik menjadi fraksi yang lebih ringan sehingga jumlah fraksi ringan yaitu metana akan bertambah (Swee Kim Leong, 2016). Secara keseluruhan, didapatkan suhu optimum untuk mendapatkan kadar produk cair dan produk gas terbaik yaitu pada suhu 275 °C.

Dari hasil analisa GC-MS dapat disimpulkan bahwa produk cair yang dihasilkan mendekati komposisi pada *gasoline* dimana pada *gasoline* terdapat kandungan senyawa hidrokarbon jenuh (*paraffin* dan *cycloparaffin*) serta senyawa aromatik dan olefin didalamnya (Martinez, 1995).



Gambar IV.11 Pengaruh Suhu Terhadap Komposisi Produk Gas

Jika dibandingkan antara *yield* produk gas dengan konsentrasi metana, dapat dilihat bahwa semakin sedikit *yield*

produk gas, justru semakin banyak konsentrasi metana yang didapat.

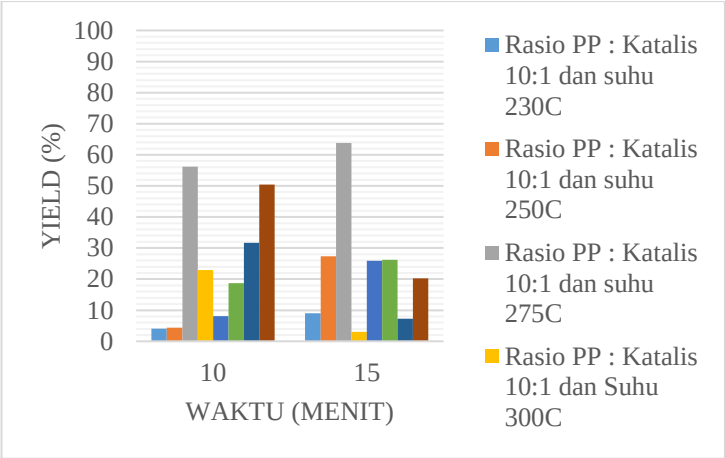
Kemudian jika dibandingkan antara konsentrasi metana pada produk gas dengan konsentrasi metana pada biogas, dapat dilihat bahwa konsentrasi metana pada produk gas (5.9%) jauh lebih kecil dibandingkan konsentrasi gas metana pada biogas (50-80%). Selain itu, saat dilakukan uji nyala api, tidak terlihat adanya nyala api. Kedua hal tersebut menyebabkan produk gas tidak dapat dijadikan bahan bakar alternatif.

IV.4. Pengaruh Waktu Terhadap Hasil Pirolisis Microwave

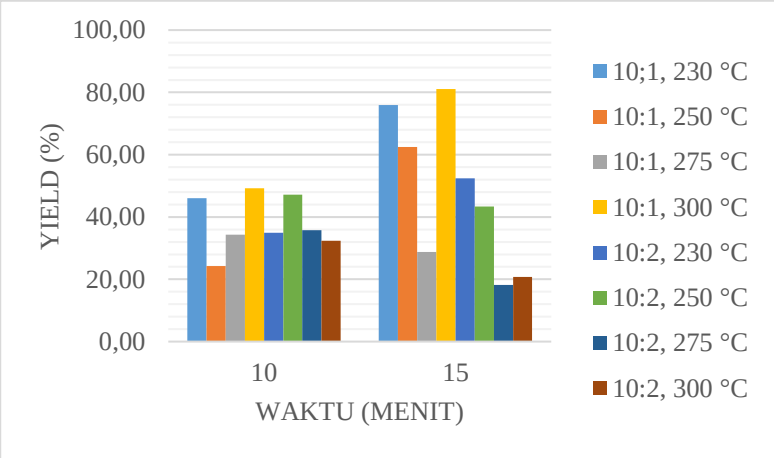
Pada penelitian yang telah dilakukan, terdapat pengaruh waktu terhadap yield dari produk maupun residu dan pengaruh waktu terhadap komposisi senyawa. Sehingga, diperoleh data seperti berikut ini :

IV.4.1. Pengaruh Waktu Terhadap *Yield* Produk

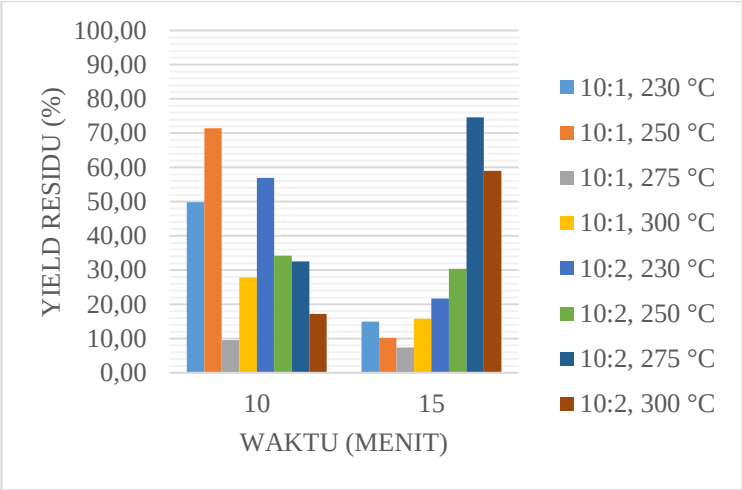
Pengaruh waktu terhadap *yield* produk cair, *yield* produk gas, dan *yield* residu dapat dilihat pada gambar IV.12, gambar IV.13, dan gambar IV.14. Pada gambar IV.12 dan gambar IV.13, dapat dilihat bahwa semakin banyak waktu operasi, maka semakin banyak *yield* produk cair dan *yield* produk gas yang didapatkan. Meningkatnya *yield* produk cair dan produk gas menyebabkan menurunnya yield residu seiring dengan penambahan waktu operasi (gambar IV.14). Hal ini disebabkan semakin banyak waktu operasi, semakin banyak plastik yang terdegradasi, baik menjadi produk cair ataupun gas, sehingga *yield* produk cair dan gas meningkat, dan *yield* residu menurun. Secara keseluruhan, waktu operasi optimum untuk mendapatkan yield produk cair, yield produk gas, dan yield residu terbaik yaitu 15 menit.



Gambar IV.12 Pengaruh Waktu Terhadap *Yield* Produk Cair



Gambar IV.13 Pengaruh Waktu Terhadap *Yield* Produk Gas



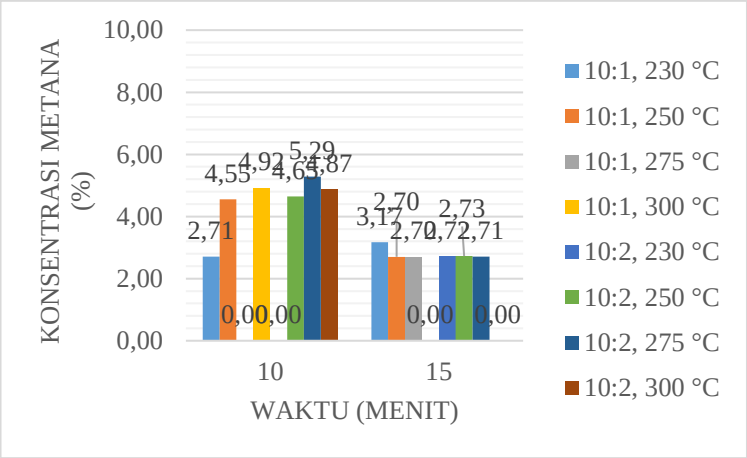
Gambar IV.14 Pengaruh Waktu Terhadap *Yield* Residu

IV.4.2 Pengaruh Waktu Terhadap Komposisi

Jika gambar IV.7 dan gambar IV.9 dibandingkan berdasarkan waktu yang digunakan, terlihat bahwa semakin banyak waktu yang digunakan pada proses ini akan membuat kadar *paraffin* semakin meningkat. Akan tetapi, hal ini tidak terjadi pada kadar *cycloparaffin*. Kadar *cycloparaffin* pada kedua gambar tersebut memberikan hasil yang menurun, didapati juga kadar yang tetap stabil pada suhu 275°C dengan rasio PP : Katalis 10:1, dimana kadarnya tetap sebesar 0,89%. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa semakin banyak waktu yang digunakan akan menaikkan kadar *paraffin* pada produk cair, tetapi juga dapat membuat kadar *cycloparaffin* menurun.

Sedangkan pengaruh waktu terhadap komposisi produk gas ditunjukkan oleh gambar IV. 15. Dapat dilihat bahwa semakin banyak waktu operasi, maka semakin sedikit komposisi metana pada produk gas yang didapatkan. Hal ini dikarenakan banyak gas yang terkondensasi menjadi produk cair. Secara keseluruhan, didapatkan waktu operasi optimum yaitu 10 menit.

Jika dibandingkan antara *yield* produk gas dengan konsentrasi metana, dapat dilihat bahwa semakin banyak *yield* produk gas, justru semakin sedikit konsentrasi metana yang didapat.



Gambar IV. 15 Pengaruh Waktu Terhadap Komposisi Produk Gas

IV.5 Pengaruh Jumlah Katalis Terhadap Hasil Pirolisis Microwave

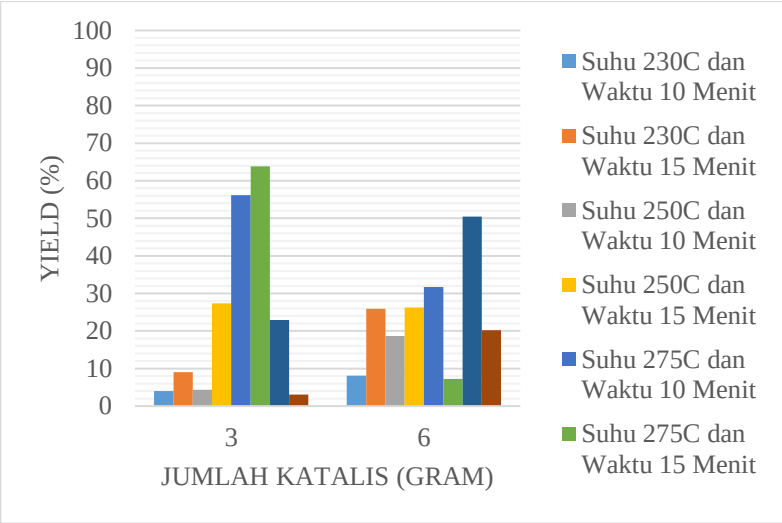
Penambahan jumlah katalis merupakan hal penting dalam proses pirolisis. Karena dalam proses pirolisis *microwave* katalis berfungsi untuk meningkatkan proses perpindahan panas dan membantu proses *cracking* dari plastik PP. Sehingga, jumlah katalis yang digunakan akan berpengaruh terhadap hasil dari proses pirolisis yang dilakukan pada suatu penelitian. Pada penelitian yang telah dilakukan, terdapat pengaruh jumlah katalis terhadap yield dari produk maupun residu dan pengaruh jumlah katalis terhadap komposisi senyawa. Sehingga, diperoleh data seperti berikut ini:

IV.5.1 Pengaruh Jumlah Katalis Terhadap *Yield* Produk

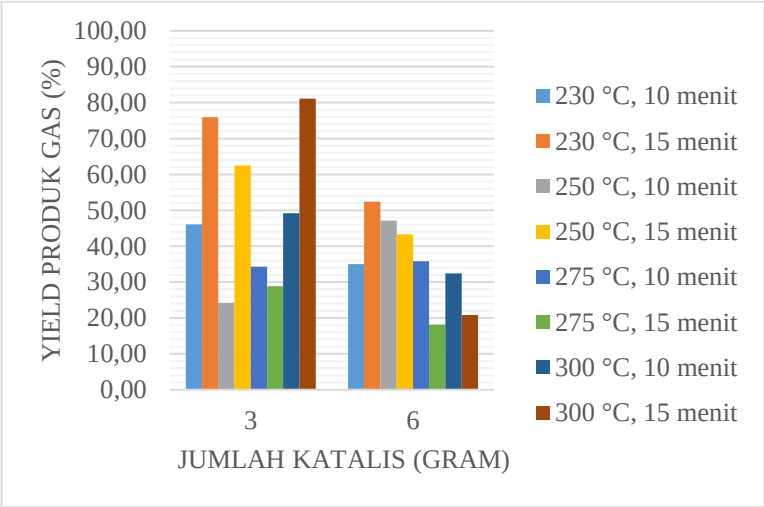
Perbandingan pada Gambar IV.16. berdasarkan bertambahnya rasio PP:katalis juga membuat peningkatan pada *yield* produk cair, dimana pada suhu 230-250°C dan suhu 300°C mengalami peningkatan. Pada suhu 230-250°C, bertambahnya rasio PP:katalis membuat *yield* produk cair meningkat hingga tiga kali lipat besarnya. Hal ini dikarenakan semakin banyak jumlah katalis maka proses perpindahan panas akan semakin mudah. Selain itu, proses *cracking* akan berlangsung semakin cepat sehingga degradasi plastik PP semakin maksimal.

Akan tetapi, pada suhu 275°C, penambahan katalis membuat penurunan produk *yield* cair. Hal ini dapat terjadi karena penambahan katalis bertujuan untuk mempermudah proses degradasi karbon pada plastik, yang tidak hanya menghasilkan produk cair, tapi juga berupa gas. Selain itu, penambahan katalis yang kurang merata juga dapat menyebabkan produk yang dihasilkan lebih sedikit karena katalis hanya mempermudah degradasi pada plastik yang bersentuhan dengan katalis tersebut untuk men-*transfer* energi dari gelombang elektromagnetik. Secara keseluruhan, penambahan katalis menjadi 10:2 menghasilkan produk cair yang lebih baik daripada operasi yang menggunakan rasio PP:katalis 10:1.

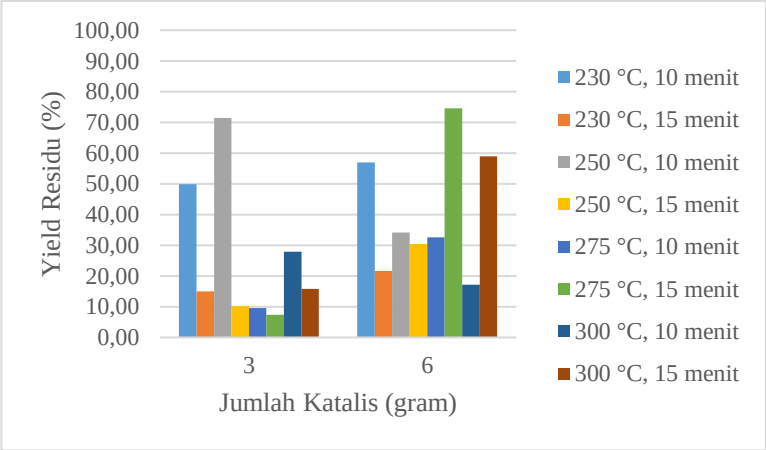
Meningkatnya *yield* produk cair seiring dengan penambahan jumlah katalis, menyebabkan penurunan *yield* produk gas (gambar IV.17). Hal tersebut juga disebabkan oleh meningkatnya *yield* residu seiring dengan penambahan jumlah katalis (gambar IV.18). Sehingga dapat disimpulkan bahwa penambahan jumlah katalis menyebabkan kenaikan *yield* produk cair dan *yield* residu, serta menurunkan *yield* produk gas.



Gambar IV.16 Pengaruh Jumlah Katalis Terhadap *Yield* Produk Cair



Gambar IV. 17 Pengaruh Jumlah Katalis Terhadap *Yield* Produk Gas



Gambar IV.18 Pengaruh Jumlah Katalis Terhadap *Yield* Residu

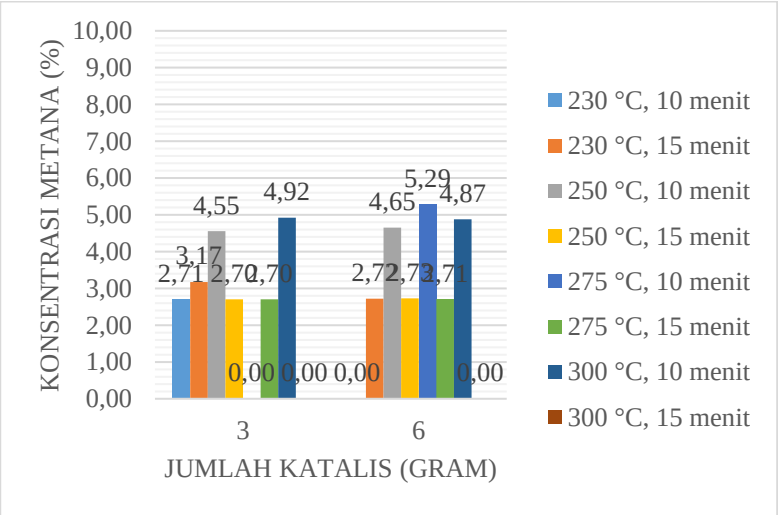
IV.5.2 Pengaruh Jumlah Katalis Terhadap Komposisi

Perbandingan Gambar IV.8. dan IV.9. berdasarkan jumlah katalis yang ditambahkan pada proses ini memberikan hasil bahwa semakin banyak katalis yang digunakan, akan membuat kadar *paraffin* menjadi menurun. Seperti pada suhu 250°C dengan waktu 15 menit, dengan menggunakan rasio PP : Katalis 10:1 (gram PP : gram katalis) dihasilkan kadar *paraffin* sebesar 5,19%. Sedangkan, untuk variabel suhu dan waktu yang sama dengan rasio PP : Katalis 10:2 (gram PP : gram katalis) menghasilkan kadar *paraffin* sebesar 3,24%.

Hal ini juga berlaku pada kadar *cycloparaffin*, karena semakin banyak jumlah katalis yang digunakan, senyawa *cycloparaffin* yang terbentuk pun semakin banyak. Kenaikkan ini dibuktikan dengan peningkatan kadar pada suhu 275°C dengan waktu 10 menit, dimana pada rasio PP : katalis 10:1 (gram PP : gram katalis) dihasilkan *cycloparaffin* dengan kadar 0,89% dan pada rasio PP : katalis 10:2 (gram PP : gram katalis) dihasilkan *cycloparaffin* dengan kadar 1,4%. Namun, peningkatan ini juga tidak signifikan.

Sedangkan pengaruh jumlah katalis terhadap komposisi produk gas ditunjukkan oleh gambar IV.19. Dapat dilihat bahwa konsentrasi metana meningkat seiring dengan penambahan jumlah katalis. Hal ini sesuai dengan Almeida (2016) dimana penambahan jumlah katalis akan membantu proses *cracking* untuk membentuk hidrokarbon yang lebih sederhana, dengan bertambahnya jumlah katalis maka pembentukan hidrokarbon yang lebih sederhana akan semakin mudah. Hal tersebut juga yang menyebabkan jumlah konsentrasi metana akan semakin bertambah seiring penambahan jumlah katalis pada proses pirolisis, meskipun tidak signifikan.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin banyak jumlah katalis yang digunakan akan meningkatkan kadar *paraffin* dan metana, serta menurunkan kadar *cycloparaffin*



Gambar IV.19 Pengaruh Jumlah Katalis Terhadap Komposisi Produk Gas

Jika dibandingkan antara *yield* produk gas dengan konsentrasi metana, dapat dilihat bahwa semakin sedikit *yield* produk gas, justru semakin banyak konsentrasi metana yang didapat.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan:

1. Proses pirolisis dengan metode *microwave heating* dan menggunakan katalis karbon aktif dari tempurung kelapa dapat mengubah plastik *Polypropylene* (PP) menjadi bahan bakar alternatif dengan cara mendegradasi plastik *Polypropylene*.
2. Semakin tinggi suhu operasi, maka *yield* produk cair semakin baik, kecuali pada suhu 300°C karena pada suhu tersebut, lebih banyak terbentuk gas dibandingkan produk cair. Untuk produk gas, pada suhu 230-275°C mengalami penurunan, kemudian meningkat dengan signifikan pada suhu 300°C. Komposisi metana semakin meningkat seiring meningkatnya suhu. Sedangkan, meningkatnya suhu membuat residu yang dihasilkan semakin sedikit.
3. Semakin lama waktu operasi, maka *yield* produk cair dan gas semakin baik. Komposisi *paraffin* meningkat dengan bertambahnya waktu, tetapi *cycloparaffin* mengalami penurunan. Semakin banyak waktu operasi, semakin sedikit komposisi metana pada produk gas yang didapatkan. Sedangkan, residu (padatan) semakin berkurang jika waktu semakin bertambah.
4. Meskipun produk cair akan meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah katalis yang digunakan, jumlah katalis yang digunakan untuk menghasilkan yield produk cair yang tinggi adalah pada rasio PP : katalis 10:1 (gram PP : gram katalis) dengan *yield* produk cair sebesar 63,82% dan semakin banyak katalis yang digunakan, akan membuat kadar *paraffin* serta *cycloparaffin* menurun Untuk produk gas, semakin bertambah jumlah katalis, akan semakin sedikit terbentuk produk gas, konsentrasi metana meningkat seiring dengan penambahan jumlah

katalis.. Semakin banyak katalis yang ditambahkan, akan memperbanyak residu yang didapatkan.

V.2 Saran

1. Untuk menghasilkan produk cair yang maksimal, perlu dilakukan proses lanjutan untuk proses pemurnian seperti penggunaan proses distilasi bertingkat.
2. *Microwave* yang digunakan lebih baik terdapat pengatur suhu atau pengatur daya.

DAFTAR PUSTAKA

Aguado, F., Formella, A., Hernando, J.M., dan Isasi, F. (2000). *Ray-Tracing Acceleration Techniques*. John Wiley & Sons, Inc. Microwave Opt Technol Lett 25: 363-365.

Almeida, Debora dan Marques, Maria de Fatima. (2016). *Thermal and Catalytic Pyrolysis of Plastic Waste*. Rio de Janeiro: Polimeros, 26(1), 44-51.

Ameer. A.A., Abdalih, M.S., Ahmed A.A., dan Yousif, E.A. (2013). *Synthesis and Characterization of Polyvinyl Chloride Chemically Modified by Amines*. Iraq: Open Journal of Polymer Chemistry, 3, 11- 15.

Andrady, A.L. (2013). *Plastics and The Environment*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Anonim. (2013). *The Facts About PET*. Brussels: European Federation of Bottled Waters AISBL. Retrieved January 8, 2018

Anonim. (2014). *Polystyrene*. American Chemistry Council, Inc. Retrieved January 8, 2018, from www.chemicalsafetyfacts.org

Anonim. (n.d.). *An Introduction to PET*. New York: PET Resin Association. Retrieved January 8, 2018, from www.petresin.org

Bahdwaj, Santosh Kumar. (2016). *A Review: GC Method Development and Validation*. International Journal of Analytical and Bioanalytical Chemistry: 6(1): 1-7.

Cowd, M.A. (1991). *Kimia Polimer*. Bandung: ITB

Deutschmann, O., Knözinger, H., Kochloefl, K., dan Turek, T. (2009). *Heterogeneous Catalysis and Solid Catalysts*. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.

Gao, Feng. (2010). *Pyrolysis of Waste into Fuels*. Thesis Chemical and Process Engineering University of Canterbury, New Zealand.

Gratuito, M.K.B., Panyathanmaporn, T., Chumnanklang, R.-A., Sirinuntawittaya, N., dan Dutta, A. (2007). *Production of*

Activated Carbon from Coconut Shell: Optimization Using Response Surface Methodology. Klongluang: Bioresource Technology 99 4887-4895.

Hayes, D., Iceman, D., dan Green, D. (2013). *HPLC: High Pressure Liquid Chromatography*. Chem 413.

Hussain, Syed Zameer dan Maqbool, Khushnuma. (2014). *GC-MS: Principle, Technique and Its Application in Food Science*. INT J CURR SCI, 13: E 116-126.

Iqbaldin, M.N. Mohd., Khudzir, I. Azlan, Mohd., Zaidi, A., Surani, B., dan Zubri, Z. (2013). *Properties of Coconut Shell Activated Carbon*. Malaysia: Journal of Tropical Forest Science 25 (4): 497-503.

Jones, Scott. (2010). *Comparing Microwave to Conventional Heating and Drying Systems.* Marion Mixers.

Kalpakjian, S. dan Schmid, S.R. (2008). *Manufacturing Processes for Engineering Materials (5 ed.)*. Australia: Pearson Education.

Leong, S.K., Lam, S.S., Ani, F.N., Ng, J.-H., dan Chong, C.T. (2016). *Production of Pyrolyzed Oil from Crude Glycerol Using a Microwave Catalysis*. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.

Li, Can dan Lium Yan. (2014). *Bridging Heterogeneous and Homogeneous Catalysis*. Dalian: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA

Ludlow-Palafox, C. dan Chase, H.A. (2006). *Microwave Pyrolysis of Plastic Wastes*. Cambridge: John Wiley & Sons, Ltd.

Mabood, F., Jan, M.R., Shah, J., Jabeen, F., dan Hussain, Z. (2010). *Catalytic Conversion of Waste Low Density Polyethylene into Fuel Oil*. Journal Iranian Chemical Research, 123.

Madakson, P.B., Yawas, D.S., dan Apasi, A. (2012). *Characterization of Coconut Shell Ash for Potential Utilization in Metal Matrix Composites for Automotive Applications*. Samaru: International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST) Vol. 4 No. 03.

Metecan, I.H., Ozkan, A.R., Isler, R., Yanik, J., Saglam, M., Yuksel, M. (2004). *Naphta Derived from Polyolefins*. Fuel 84: 619-628

Meyer, V.R. (2004). *Practical High-Performance Liquid Chromatography (4 ed.)*. Wenheim: John Wiley & Sons, Ltd.

Nazif, Rio, dkk. (2016). *Pengaruh Suhu Pirolisis dan Jumlah Katalis Karbon Aktif Terhadap Yield dan Kualitas Bahan Bakar Cair dari Limbah Plastik Jenis Polipropilena*. Jurusan Teknik Kimia USU, Vol. 5, No.3

Panda, A.K., Singh, R.K., dan Mishra, D.K. (2010). *Thermolysis of Waste Plastics to Liquid Fuel: A Suitable Method for Plastic Waste Management and Manufacture of Value Added Products-A world Prospective*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 14(1): 233-248.

Ramadhan, Aprian dan Ali, Munawir. (2013). *Pengolahan Sampah Plastik Menjadi Minyak Menggunakan Proses Pirolisis*. Surabaya: UPN "Veteran" Jawa Timur

Syamsiro, Mochamad. (2015). *Kajian Pengaruh Penggunaan Katalis Terhadap Kualitas Produk Minyak Hasil Pirolisis Sampah Plastik*. Jurnal Teknik, Vol. 5, No. 1, Hal. 1-85, Universitas Janabadra.

Vinken, E. (2008). *Polyamides: Hydrogen Bonding, The Brill Transition, and Superheated Water*. Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven.

Wampler, Thomas P. (2003). *Applied Pyrolysis Handbook Second Edition*. Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group, LLC.

https://cfamm.ucr.edu/documents/eds-intro.pdf diunduh pada 4 Juli 2018 pada Pukul 22.02.

Halaman ini sengaja dikosongkan

APPENDIX

A.1. Perhitungan Yield Produk dan Residu

Tabel A.1. Data Hasil Percobaan

Suhu (ºC)	Rasio PP:Katalis	Waktu (menit)	Massa (g)	
			Cairan	Residu
230	10:1	10	1,336	16,4593
230	10:1	15	2,9901	4,9421
230	10:2	10	2,9128	20,4964
230	10:2	15	9,329	7,81
250	10:1	10	1,449	23,561
250	10:1	15	9,0315	3,3624
250	10:2	10	6,7265	12,3025
250	10:2	15	9,4489	10,955
275	10:1	10	18,5318	3,1446
275	10:1	15	21,0621	2,4306
275	10:2	10	11,4048	11,719
275	10:2	15	2,616	26,844
300	10:1	10	7,5621	9,2026
300	10:1	15	1,0193	5,2163
300	10:2	10	18,1604	6,187
300	10:2	15	7,284	21,226

1. Perhitungan yield produk cair

Untuk variabel rasio PP:Katalis = 10:1

Bahan baku yang digunakan:

Plastik PP	=	30	gram
Katalis	=	3	gram
Total	=	33	gram

Contoh perhitungan untuk variabel suhu 230ºC dengan waktu 15 menit

Massa produk cairan = 2,9901 gram

$$\text{Yield produk cair} = \frac{\text{massa produk cair}}{\text{massa bahan baku}}$$

$$= \frac{2{,}9901 \text{ gram}}{33 \text{ gram}} \times 100\%$$

$$= 9{,}061\%$$

Tabel A.2. Perhitungan Yield Produk Cair Pada Variabel Rasio PP:Katalis 10:1

Suhu (ºC)	Waktu (menit)	Massa (g)	Yield (%)
230	10	1,336	4,0484848
230	15	2,9901	9,0609091
250	10	1,449	4,3909091
250	15	9,0315	27,368182
275	10	18,5318	56,15697
275	15	21,0621	63,824545
300	10	7,5621	22,915455
300	15	1,0193	3,0887879

Untuk variabel rasio PP:Katalis = 10:2

Bahan baku yang digunakan:

Plastik PP	=	30	gram
Katalis	=	6	gram
Total	=	36	gram

Contoh perhitungan untuk variabel suhu 230ºC dengan waktu 15 menit

Massa produk cairan = 9,329 gram

$$\text{Yield produk cair} = \frac{\text{massa produk cair}}{\text{massa bahan baku}}$$

$$= \frac{9{,}329 \text{ gram}}{36 \text{ gram}} \times 100\%$$

$$= 25{,}914\%$$

Tabel A.3. Perhitungan Yield Produk Cair Pada Variabel Rasio PP:Katalis 10:2

Suhu (ºC)	Waktu (menit)	Massa (g)	Yield (%)
230	10	2,9128	8,0911111
230	15	9,329	25,913889
250	10	6,7265	18,684722
250	15	9,4489	26,246944
275	10	11,4048	31,68
275	15	2,616	7,2666667
300	10	18,1604	50,445556
300	15	7,284	20,233333

2. Perhitungan yield residu

Untuk variabel rasio PP:Katalis = 10:1

Bahan baku yang digunakan:

Plastik PP	=	30	gram
Katalis	=	3	gram
Total	=	33	gram

Contoh perhitungan untuk variabel suhu 230ºC dengan waktu 15 menit

Massa residu = 4,9421 gram

$$\text{Yield residu} = \frac{\text{massa residu}}{\text{massa bahan baku}}$$

$$= \frac{4{,}9421 \text{ gram}}{33 \text{ gram}} \times 100\%$$

$$= 14{,}976\%$$

Tabel A.4. Perhitungan Residu Pada Variabel Rasio PP:Katalis 10:1

Suhu (ºC)	Waktu (menit)	Massa (g)	Yield (%)
230	10	16,4593	49,876667
230	15	4,9421	14,976061
250	10	23,561	71,39697
250	15	3,3624	10,189091
275	10	3,1446	9,5290909
275	15	2,4306	7,3654545
300	10	9,2026	27,886667
300	15	5,2163	15,80697

Untuk variabel rasio PP:Katalis = 10:2

Bahan baku yang digunakan:

Plastik PP	=	30	gram
Katalis	=	6	gram
Total	=	36	gram

Contoh perhitungan untuk variabel suhu 230ºC dengan waktu 15 menit

Massa residu = 7,81 gram

$$\text{Yield residu} = \frac{\text{massa residu}}{\text{massa bahan baku}}$$

$$= \frac{7{,}81 \text{ gram}}{36 \text{ gram}} \times 100\%$$

$$= 21{,}694\%$$

Tabel A.5. Perhitungan Residu Pada Variabel Rasio PP:Katalis 10:2

Suhu (ºC)	Waktu (menit)	Massa (g)	Yield (%)
230	10	20,4964	56,934444
230	15	7,81	21,694444
250	10	12,3025	34,173611
250	15	10,955	30,430556
275	10	11,719	32,552778
275	15	26,844	74,566667
300	10	6,187	17,186111
300	15	21,226	58,961111

3. Perhitungan yield produk gas

Untuk variabel rasio PP:Katalis = 10:1

Bahan baku yang digunakan:

Plastik PP	=	30	gram
Katalis	=	3	gram
Total	=	33	gram

Contoh perhitungan untuk variabel suhu 230ºC dengan waktu 15 menit

Massa produk cairan	=	2,9901	gram
Massa produk residu	=	4,9421	gram

Yield produk gas

$$= \frac{\text{massa bahan baku - massa produk cair - massa residu}}{\text{massa bahan baku}}$$

$$= \frac{33 \text{ gr} - 2{,}99 \text{ gr} - 4{,}94 \text{ gr}}{33 \text{ gram}} \times 100\%$$

$$= 75{,}963\%$$

Tabel A.6. Perhitungan Produk Gas Pada Variabel Rasio PP:Katalis 10:1

Suhu (ºC)	Waktu (menit)	Massa (g)			Yield (%)
		Cairan	Residu	Gas	
230	10	1,336	16,459	15,2047	46,074848
230	15	2,990	4,942	25,0678	75,96303
250	10	1,449	23,561	7,99	24,212121
250	15	9,032	3,362	20,6061	62,442727
275	10	18,532	3,145	11,3236	34,313939
275	15	21,062	2,431	9,5073	28,81
300	10	7,562	9,203	16,2353	49,197879
300	15	1,019	5,216	26,7644	81,104242

Untuk variabel rasio PP:Katalis = 10:2

Bahan baku yang digunakan:

Plastik PP = 30 gram

Katalis = 6 gram

Total = 36 gram

Contoh perhitungan untuk variabel suhu 230ºC dengan waktu 15 menit

Massa produk cairan = 9,329 gram

Massa produk residu = 7,81 gram

Yield produk gas

$$= \frac{\text{massa bahan baku - massa produk cair - massa residu}}{\text{massa bahan baku}}$$

$$= \frac{36 \text{ gr} - 9{,}329 \text{ gr} - 7{,}81 \text{ gr}}{36 \text{ gram}} \times 100\%$$

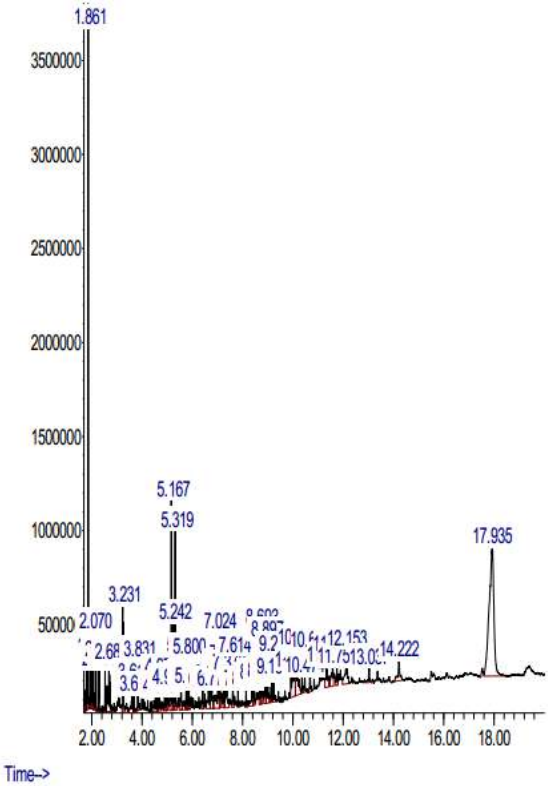
= 52,392%

Tabel A.7. Perhitungan Produk Gas Pada Variabel Rasio PP:Katalis 10:2

Suhu (ºC)	Waktu (menit)	Massa (g)			Yield (%)
		Cairan	Residu	Gas	
230	10	2,913	20,496	12,591	34,974
230	15	9,329	7,810	18,861	52,392
250	10	6,727	12,303	16,971	47,142
250	15	9,449	10,955	15,596	43,323
275	10	11,405	11,719	12,876	35,767
275	15	2,616	26,844	6,540	18,167
300	10	18,160	6,187	11,653	32,368
300	15	7,284	21,226	7,490	20,806

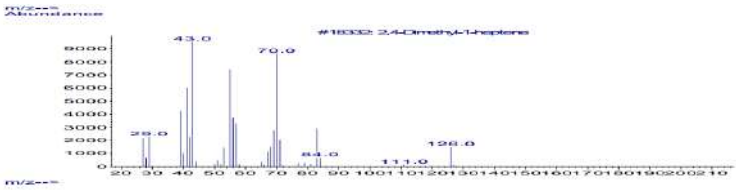
A.2. Hasil Analisis Kandungan Hidrokarbon pada Produk Cair Menggunakan GC-MS (*Gas Chromatography - Mass Spectrometry*)

Hasil analisis yang telah dilakukan di Laboratorium PT. Gelora Djaja, misal, untuk variabel suhu 300°C dan waktu 15 menit menunjukkan grafik antara *abundance* dan *retention time* untuk semua senyawa adalah sebagai berikut ;



Gambar A.1. Hasil Analisis Produk Cair menggunakan GC-MS untuk Variabel Suhu 275°C, Waktu 10 menit, dan Rasio PP : Katalis 10:1 (Gram PP : Gram Katalis)

Kemudian, dari grafik ditas dipilah-pilah lagi berdasarkan per senyawa yang dihasilkan menurut *abundance* yang disesuaikan dengan *retention time* seperti grafik dibawah ini :



Gambar A.2. Hasil Peak Kedua pada Analisis Produk Cair menggunakan GC-MS
untuk Variabel Suhu 275°C, Waktu 10 menit, dan Rasio PP : Katalis 10:1 (Gram PP : Gram Katalis)

Dari grafik pada gambar A.2, dari *software* GC-MS diperoleh pada *retention time* 1,859 menit dan pada *peak* 2 m/z diperoleh senyawa *Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl-*. Kemudian, dilakukan perekapan dari hasil analisis produk cair tersebut. Misal, untuk *Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl-* merupakan senyawa turunan dari *cycloparaffin* yang memiliki kadar 0,89%.

Cara menentukan senyawa yang terbaca pada setiap *peak* adalah dengan melihat nilai kualitas minimumnya yaitu 85. Seperti gambar A.3 berikut ini :

Laboratorium PT. Gelora Djaja

Library Search Report

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\
Data File : 02071801.D
Acq On : 2 Jul 2018 13:40
Operator : SRA
Sample : 191/LU15 275/10 : 1/10
Misc : Lisa Kusuma W - ITS
ALS Vial : 1 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST02.L Minimum Quality: 85
C:\Database\Wiley275.L Minimum Quality: 85

Unknown Spectrum: Apex
Integration Events: Chemstation Integrator - autoint1.e

Gambar A.3. *Minimum Quality* Pada Analisis Produk Cair menggunakan GC-MS untuk Variabel Suhu 275°C, Waktu 10 menit, dan Rasio PP : Katalis 10:1 (Gram PP : Gram Katalis)

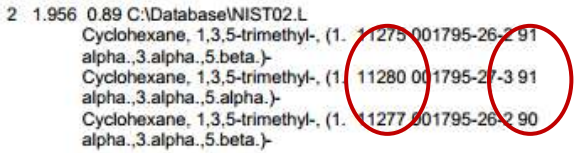
Seperti pada sampel untuk variabel suhu 275°C, waktu 10 menit, dan rasio PP : Katalis 10:1 (gram PP : gram katalis) seperti gambar A.4 berikut ini :

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	1.859	8.93	C:\Database\Wiley275.L			
			2,4-Dimethyl-1-heptene	18332	019549-87-2	72
			Cyclopentane, 1,1,3,3-tetramethyl- (CAS) $$ 1,1,3,3-Tetramethylcyclopentane	18258	050876-33-0	53
			2-Methyl-1,3-cyclohexanedione $$ 1,3-Cyclohexanedione, 2-methyl- (CAS) $$ 1-Methyl-2,6-cyclohexanedione $$ 2-Methylcyclohexane-1,3-dione	17733	001193-55-1	35
2	1.956	0.89	C:\Database\NIST02.L			
			Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl-, (1, alpha.,3.alpha.,5.beta.)-	11275	001795-26-2	91
			Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl-, (1, alpha.,3.alpha.,5.alpha.)-	11280	001795-27-3	91
			Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl-, (1, alpha.,3.alpha.,5.beta.)-	11277	001795-26-2	90

Gambar A.4. Analisis Produk Cair menggunakan GC-MS untuk Variabel Suhu 275°C, Waktu 10 menit, dan Rasio PP : Katalis 10:1 (Gram PP : Gram Katalis)

Dari gambar A.4 diatas, pada *peak* 1 nilai kualitasnya 72, sehingga tidak memenuhi nilai kualitas minimum dari senyawa hidrokarbon pada GC-MS tersebut. Akan tetapi, pada *peak* 2 nilai kualitasnya 91, sehingga memenuhi nilai kualitas minimum dari senyawa hidrokarbon pada GC-MS. Maka, senyawa pada *peak* 2 merupakan kandungan pada produk liquid pada penelitian ini *Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl-* dengan kadar 0,89%.

Selain itu, pada beberapa *peak* terdapat jenis senyawa yang sama dan memiliki nilai kualitasnya yang sama juga (nilai kualitas ≥ 85). Untuk menentukan senyawa mana yang akan diambil, maka perlu melihat nilai referensinya. Senyawa yang memiliki nilai referensi yang besar, maka dapat diambil. Seperti pada variabel suhu 275°C, waktu 10 menit, dan rasio PP : katalis 10:1 (gram PP : gram katalis) seperti gambar A.5 berikut ini :



Gambar A.5. Analisis Produk Cair menggunakan GC-MS untuk Variabel Suhu 275°C, Waktu 10 menit, dan Rasio PP : Katalis 10:1 (Gram PP : Gram Katalis)

Pada kolom keterangan (%) tabel A.7 hingga A.22, kadar untuk masing-masing senyawa merupakan hasil penjumlahan kadar dari kolom kadar hidrokarbon (%).

Tabel A.7. Hasil Analisa GC-MS Pada Variabel Suhu 230°C dan Waktu 10 Menit dengan Rasio PP : Katalis 10:1 (Gram PP : Gram Katalis)

Nama Senyawa	Kadar Hidrokarbon (%)	Keterangan
p-Xylene	4,9	Aromatik
Benzene, 1,2,3-trimethyl	3,1	
Pyridine-3-carboxamide, oxime, N-(2-trifluoromethylphenyl)-	22,23	30,23
Sub Total (%)	30,23	
Unknown (%)	69,77	
Total (%)	100	

Tabel A.8. Hasil Analisa GC-MS Pada Variabel Suhu 230°C dan Waktu 15 Menit dengan Rasio PP : Katalis 10:1 (Gram PP : Gram Katalis)

Nama Senyawa	Kadar Hidrokarbon (%)	Keterangan
Benzene, 1,3-dimethyl	2,15	Aromatik
Benzene, 1,2,3-trimethyl	2	4,15
Ethanol, 2-(dodecyloxy)-	0,82	Alkohol
		0,82
Dodecane, 4,6-dimethyl	0,97	n-Paraffin
Hexadecane	0,87	
Eicosane	0,57	2,41
Sub Total (%)	6,56	
Unknown (%)	93,44	
Total (%)	100	

Tabel A.9. Hasil Analisa GC-MS Pada Variabel Suhu 230°C dan Waktu 10 Menit dengan Rasio PP : Katalis 10:2 (Gram PP : Gram Katalis)

Nama Senyawa	Kadar Hidrokarbon (%)	Keterangan
Benzene, 1,2,3-trimethyl	2,54	Aromatik 4,58
Benzene, 1,2,3,5-tetramethyl-	0,91	
Benzene, 2,4-dimethyl-1-(1-methylethyl)-	1,13	
Heptane,2,4-dimethyl	1,75	n-Paraffin 5,47
Heptane, 2,4,6-trimethyl	0,6	
Pentadecane	0,89	
Octacosane	0,5	
Heptadecane	0,79	
Pentatriacontane	0,45	
EICOSANE	0,49	
Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl-	0,96	Cycloparaffin 0,96
Sub Total (%)	11,01	
Unknown (%)	88,99	
Total (%)	100	

Tabel A.10. Hasil Analisa GC-MS Pada Variabel Suhu 230°C dan Waktu 15 Menit dengan Rasio PP : Katalis 10:2 (Gram PP : Gram Katalis)

Nama Senyawa	Kadar Hidrokarbon (%)	Keterangan
1,3-Dimethyl-1-cyclohexene	0,19	Aromatik 17,3
p-Xylene	8,17	
Benzene, 1-ethyl-2-methyl	0,64	
Benzene,1,2,3-trimethyl	6,57	
Benzene, 1-methyl-2-(1-methylehyl)-	1,09	
Benzene, 1,2,4,5-tetramethyl-	0,64	
Heptane, 2,4-dimethyl	6,2	n-Paraffin 10,24
Heptane, 2,4,6-trimethyl	1,88	
Pentadecane	0,4	
1,3,5-trimethylcyclohexane	1,76	Cycloparaffin 1,76
Sub Total (%)	29,3	
Unknown (%)	70,7	
Total (%)	100	

Tabel A.11. Hasil Analisa GC-MS Pada Variabel Suhu 250°C dan Waktu 10 Menit dengan Rasio PP : Katalis 10:1 (Gram PP : Gram Katalis)

Nama Senyawa	Kadar Hidrokarbon (%)	Keterangan
Benzene, 1,4-dimethyl	5,62	Aromatik 10,83
Benzene, 1,3,5-trimethyl	4,45	
Benzene, 1,2,4,5-tetramethyl	0,76	
Heptane, 2,4-dimethyl	3,84	n-Paraffin 4,96
Heptane, 2,4,6-trimethyl	1,12	
Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl-	1,45	Cycloparaffin 1,45
Sub Total (%)	17,24	
Unknown (%)	82,76	
Total (%)	100	

Tabel A.12. Hasil Analisa GC-MS Pada Variabel Suhu 250°C dan Waktu 15 Menit dengan Rasio PP : Katalis 10:1 (Gram PP : Gram Katalis)

Nama Senyawa	Kadar Hidrokarbon (%)	Keterangan
p-Xylene	10,36	Aromatik 16,99
Benzene, 1,2,3-trimethyl	6,63	
Heptane, 2,4-dimethyl	5,19	n-Paraffin 5,19
1,2,4-trimethylcyclohexane	2,45	Cycloparaffin 2,45
Sub Total (%)	24,63	
Unknown (%)	75,37	
Total (%)	100	

Tabel A.13. Hasil Analisa GC-MS Pada Variabel Suhu 250°C dan Waktu 10 Menit dengan Rasio PP : Katalis 10:2 (Gram PP : Gram Katalis)

Nama Senyawa	Kadar Hidrokarbon (%)	Keterangan
Benzene, 1,2,3-trimethyl	4,64	Aromatik 4,64
Heptane, 2,4-dimethyl	3,16	n-Paraffin 3,16
Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl-	2,37	Cycloparaffin 2,37
2,4-dimethyl-1-heptene	7,04	Olefin 7,04
Sub Total (%)	2,37	
Unknown (%)	97,63	
Total (%)	100	

Tabel A.14. Hasil Analisa GC-MS Pada Variabel Suhu 250°C dan Waktu 15 Menit dengan Rasio PP : Katalis 10:2 (Gram PP : Gram Katalis)

Nama Senyawa	Kadar Hidrokarbon (%)	Keterangan
Heptane, 2,4-dimethyl-	3,24	n-Paraffin 3,24
Benzene 1,3-dimethyl	5,05	aromatik 10,87
Benzene, 1,2,3-trimethyl	5,82	
Sub Total (%)	10,87	
Unknown (%)	89,13	
Total (%)	100	

Tabel A.15. Hasil Analisa GC-MS Pada Variabel Suhu 275°C dan Waktu 10 Menit dengan Rasio PP : Katalis 10:1 (Gram PP : Gram Katalis)

Nama Senyawa	Kadar Hidrokarbon (%)	Keterangan
Benzene, 1,2,3-trimethyl	0,63	Aromatik 13,668
Pyridine-3-carboxamide, oxime, N-2-trifluoromethylphenyl	13,038	
N-EICOSANE	10,066	n-Paraffin 28,002
Hentriacontane	17,936	
Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl-alpha., 3alpha, 5 alpha	0,89	Cycloparaffin 0,89
Heptanone, 4-methyl	0,8	Keton 0,8
Sub Total (%)	43,36	
Unknown (%)	56,64	
Total (%)	100	

Tabel A.16. Hasil Analisa GC-MS Pada Variabel Suhu 275°C dan Waktu 15 Menit dengan Rasio PP : Katalis 10:1 (Gram PP : Gram Katalis)

Nama Senyawa	Kadar Hidrokarbon (%)	Keterangan
2-Heptanone, 4-methyl	1,01	Keton 1,01
Benzene, 1,2,3-trimethyl	0,63	Aromatik 0,63
1,30-Triacontanediol	38,71	Alkohol 38,71
Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl-	0,89	Cycloparaffin 0,89
Sub Total (%)	41,24	
Unknown (%)	58,76	
Total (%)	100	

Tabel A.17. Hasil Analisa GC-MS Pada Variabel Suhu 275°C dan Waktu 10 Menit dengan Rasio PP : Katalis 10:2 (Gram PP : Gram Katalis)

Nama Senyawa	Kadar Hidrokarbon (%)	Keterangan
Benzene, 1,2,3-trimethyl	0,63	Aromatik 0,63
Dodecane, 4-6-dimethyl-	1,47	n-Paraffin 4,11
Hexatriacontane	1,49	
N-EICOSANE	0,49	
EICOSANE	0,66	
Cyclotetracosane	0,51	Cycloparaffin 0,51
Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl-	0,89	
Sub Total (%)	5,25	
Unknown (%)	94,75	
Total (%)	100	

Tabel A.18. Hasil Analisa GC-MS Pada Variabel Suhu 275°C dan Waktu 15 Menit dengan Rasio PP : Katalis 10:2 (Gram PP : Gram Katalis)

Nama Senyawa	Kadar Hidrokarbon (%)	Keterangan
Benzene, 1,2,3-trimethyl	1,55	Aromatik 2,32
Benzene, 1,2,3,5-tetramethyl	0,77	
Dodecane, 4-6-dimethyl-	0,91	n-Paraffin 3,55
Octadecane	1	
EICOSANE	1,08	
HENEICOSANE	0,56	
Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl-	0,56	Cycloparaffin 0,56
2-Heptanone, 4-methyl	1,23	Keton 1,23
Sub Total (%)	7,66	
Unknown (%)	92,34	
Total (%)	100	

Tabel A.19. Hasil Analisa GC-MS Pada Variabel Suhu 300°C dan Waktu 10 Menit dengan Rasio PP : Katalis 10:1 (Gram PP : Gram Katalis)

Nama Senyawa	Kadar Hidrokarbon (%)	Keterangan
Benzene, 1,2,3,-trimethyl	1,46	Aromatik 1,46
Heptane, 2,4-dimethyl	1,42	n-Paraffin 1,42
Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl-	0,89	Cycloparaffin 0,89
Sub Total (%)	3,77	
Unknown (%)	96,23	
Total (%)	100	

Tabel A.20. Hasil Analisa GC-MS Pada Variabel Suhu 300°C dan Waktu 15 Menit dengan Rasio PP : Katalis 10:1 (Gram PP : Gram Katalis)

Nama Senyawa	Kadar Hidrokarbon (%)	Keterangan
Benzene, 1,3-dimethyl	2,32	Aromatik 17,09
Benzene, 1,2,3,-trimethyl	1,79	
Benzene, 1,2,3,4-tetramethyl	0,43	
Benzene, 1,4-dimethyl-2-(1-methyl)-	0,52	
Naphthalene	0,77	
1,2-Benzenedicarboxylic acimono (2-ethylecyl) ester	11,26	
Dodecane, 4,6-dimethyl	1,03	n-Paraffin 15,21
Tetradecane	1,05	
Eicosane	1,1	
Sub Total (%)	32,3	
Unknown (%)	67,7	
Total (%)	100	

Tabel A.21. Hasil Analisa GC-MS Pada Variabel Suhu 300°C dan Waktu 10 Menit dengan Rasio PP : Katalis 10:2 (Gram PP : Gram Katalis)

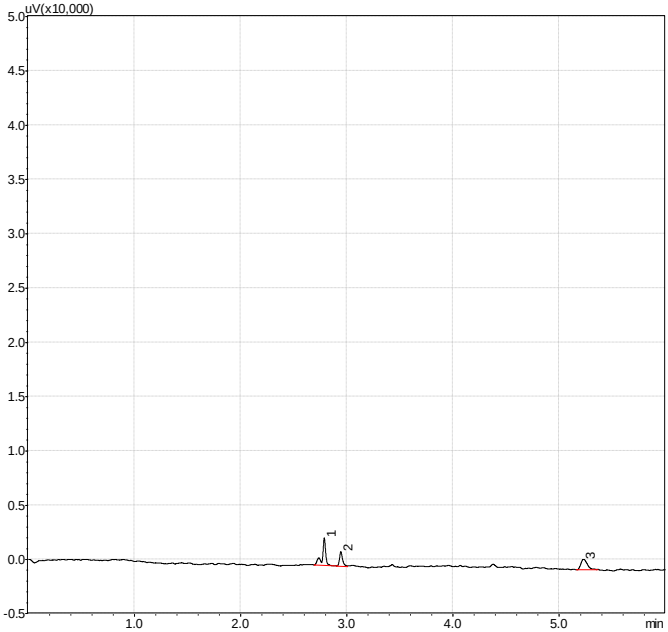
Nama Senyawa	Kadar Hidrokarbon (%)	Keterangan
Benzene, 1,2,3-trimethyl	3,43	Aromatik 4,46
Benzene, pentamethyl-	1,03	
Dodecane, 4,6-dimethyl-	0,92	n-Paraffin 4,91
Heptane, 2,4-dimethyl-	3,02	
Heptane, 2,4,6-trimethyl-	0,97	
Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl-	1,35	Cycloparaffin 4,46
Sub Total (%)	13,83	
Unknown (%)	86,17	
Total (%)	100	

Tabel A.22. Hasil Analisa GC-MS Pada Variabel Suhu 300°C dan Waktu 15 Menit dengan Rasio PP : Katalis 10:2 (Gram PP : Gram Katalis)

Nama Senyawa	Kadar Hidrokarbon (%)	Keterangan
Benzene, 1,2,3-trimethyl	1,6	Aromatik 1,6
Sub Total (%)	1,6	
Unknown (%)	98,4	
Total (%)	100	

A.3. Hasil Analisis Kandungan Metana dari Produk Gas Menggunakan GC (*Gas Chromatography*)

Hasil analisis yang telah dilakukan di Laboratorium Biokimia, Departemen Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, misal, untuk variabel suhu 275°C dan waktu 10 menit dengan rasio PP : katalis 10:2 (gram PP : gram katalis) menunjukkan grafik untuk kandungan metana pada variabel tersebut adalah sebagai berikut :



Gambar A.6. Hasil Analisis Kandungan Metana pada Produk Gas Menggunakan GC untuk Variabel Suhu 275°C dan Waktu 10 Menit dengan Rasio PP : Katalis 10:2 (Gram PP : Gram Katalis)

Dari hasil Analisis GC seperti pada gambar A.6, diperoleh :

Retention time = 2,954 menit

Luas area = 19,208%

Jumlah = 2704×10^4 ppm

Untuk menghitung konsentrasi gas, digunakan persamaan :

$$\text{Konsentrasi} = \frac{\text{Jumlah}}{10^6} \; \frac{\text{gram metana}}{\text{gram gas}}$$

$$\text{Konsentrasi} = \frac{2704 \times 10^4}{10^6} \; \frac{\text{gram metana}}{\text{gram gas}}$$

$$\text{Konsentrasi} = 5{,}29 \; \frac{\text{gram metana}}{\text{gram gas}}$$

Kemudian, dilakukan perekapan data, sehingga diperoleh konsentrasi gas untuk masing-masing variabel sebagai berikut :

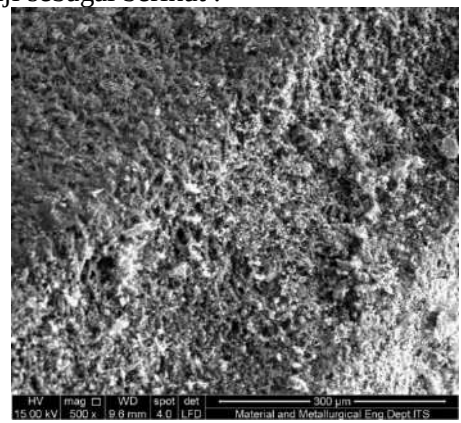
Tabel A.23. Konsentrasi Metana dari Produk Gas

Suhu	Rasio PP:Katalis	Waktu	%konsentrasi
230	10:1	10	2,7075%
230	10:1	15	3,1747%
230	10:2	10	0,0000%
230	10:2	15	2,7244%
250	10:1	10	4,5530%
250	10:1	15	2,7021%
250	10:2	10	4,6513%
250	10:2	15	2,7252%

275	10:1	10	0,0000%
275	10:1	15	2,7015%
275	10:2	10	5,2875%
275	10:2	15	2,7103%
300	10:1	10	4,9242%
300	10:1	15	0,0000%
300	10:2	10	4,8737%
300	10:2	15	0,0000%

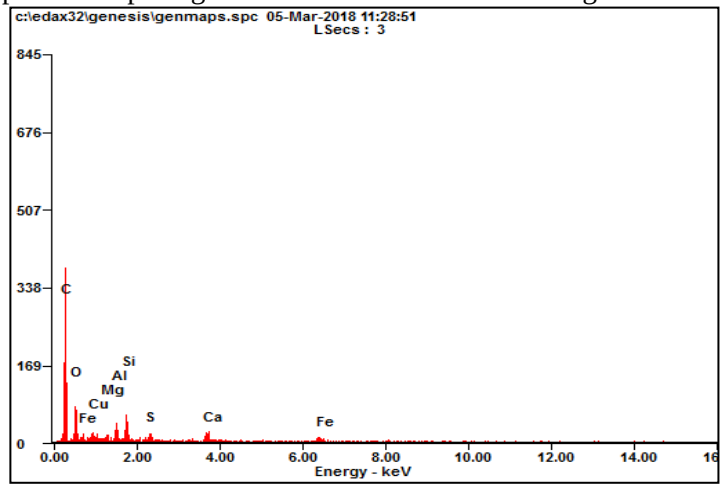
A.4. Hasil Analisis Kandungan dan Morfologi Katalis Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa dengan Menggunakan SEM-EDX (*Scanning Electron Microscope- Energy Dispersive X-ray spectroscopy*)

Hasil analisis yang telah dilakukan di Laboratorium Divisi Karakterisasi Material, Departemen Teknik Material dan Metalurgi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, diperoleh hasil uji sebagai berikut :



Gambar A.9. Hasil Analisis Morfologi Katalis Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa dengan Menggunakan SEM-EDX pada perbesaran 300µm.

Hasil kandungan dari karbon aktif dari tempurung kelapa dapat dilihat pada gambar A.10 dan tabel A.24 sebagai berikut :



Gambar A.10. Hasil Analisis Kandungan Katalis Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa dengan Menggunakan SEM-EDX pada perbesaran 300µm.

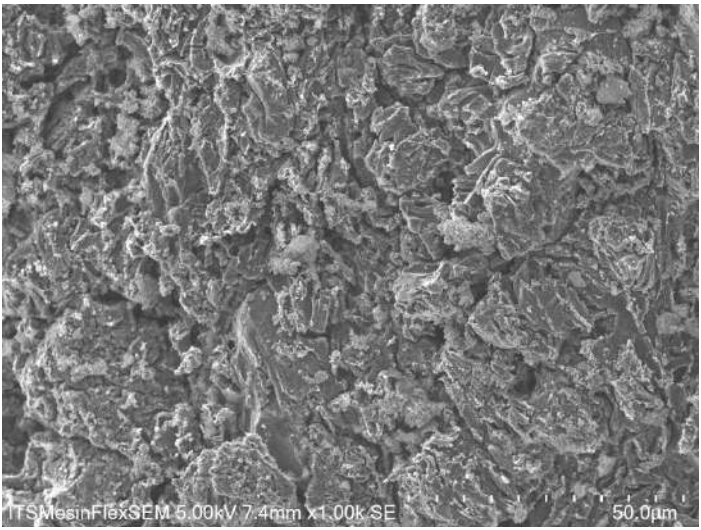
Tabel A.24. Kandungan Katalis Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa dengan Menggunakan SEM-EDX pada perbesaran 300µm

Element	***Wt%***	***At%***
C	45.86	62.75
O	23.54	24.18
Cu	05.29	01.37
Mg	01.50	01.01
Al	03.49	02.13
Si	04.98	02.92
S	02.30	01.18
Ca	05.44	02.23
Fe	07.59	02.23

Keterangan :Wt(%) = %Berat
At (%) = %Area

A.5. Hasil Analisis Kandungan Produk Padat dengan Menggunakan EDX (*Energy Dispersive X-ray spectroscopy*)

Hasil analisis yang telah dilakukan di Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, diperoleh hasil uji seperti gambar A.11 sebagai berikut :



Gambar A.11. Hasil Analisis Kandungan Produk Padat (Residu) Menggunakan EDX dengan Perbesaran 50 µm.

Tabel A.25. Kandungan Produk Padat (Residu) Menggunakan EDX

Komponen	Wt (%)	At (%)
C	15,27	26,61
Ca	41,04	21,43
O	36,19	47,35
Fe	1,32	0,5
Cu	1,3	0,43
Mg	1,06	0,91
Al	1,2	0,93
Si	1,42	1,05
S	1,21	0,79

Keterangan : Wt (%) = %Berat
At (%) = %Area

A.6. Hasil Analisis *Surface Area* Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa Menggunakan BET (*Brunauer, Emmet, dan Teller*)

Hasil analisis yang telah dilakukan di Laboratorium Elektrokimia dan Korosi, Departemen Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, diperoleh hasil uji seperti gambar A.11 sebagai berikut :

```
                    ©1994-2007, Quantachrome Instruments
                                version 10.01

Analysis                                    Report
Operator:ITS                Date:2018/07/09 Operator:ITS                Date:7/10/2018
Sample ID:  Lisa Riandrika  Filename:       C:\QCdata\Physisorb\2018\18070901 Karbon aktif.qps
Sample Desc:   Padatan      Comment:        9 Juli 2018
Sample weight: 0.86392 g    Sample Volume:  0.28757 cc
Outgas Time:   3.0 hrs      OutgasTemp:     300.0 C
Analysis gas:  Nitrogen     Bath Temp:      77.3 K
Press. Tolerance:0.100/0.100 (ads/des)Equil time: 120/120 sec (ads/des)Equil timeout:240/240 sec (ads/des)
Analysis Time: 66.7 min     End of run:     2018/07/09 17:54:30 Instrument:    Nova Station A
Cell ID:       9
Adsorbate      Nitrogen            Temperature    77.350K
               Molec. Wt.: 28.013  g   Cross Section: 16.200  A²     Liquid Density: 0.808  g/cc

        Relative|Pressure              Volume @ STP                1 / [ W((Po/P) - 1) ]

              P/Po                        cc/g

               9.54330e-02                218.3550                        3.8658e-01
               1.51947e-01                227.6811                        6.2964e-01
               1.97500e-01                233.0052                        8.4510e-01
               2.48140e-01                237.4557                        1.1121e+00
               2.99818e-01                241.1138                        1.4209e+00

                                          BET summary
                                     Slope =        5.850
                                 Intercept =       -1.238e-01
                 Correlation coefficient, r =       0.997664
                                 C constant=       -39.774

                              Surface Area =       786.984 m²/g
```

Gambar A.12. Hasil Analisis *Surface Area* Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa Menggunakan BET

RIWAYAT PENULIS

Penulis bernama lengkap Lisa Kusuma Wardhany, dilahirkan di Jakarta, 10 Agustus 1996, merupakan anak pertama dari 2 bersaudara. Penulis telah melakukan pendidikan formal mulai dari SD Batanghari Jakarta, SMP Negeri 216 Jakarta, SMA Negeri 68 Jakarta, dan sedang menempuh program S-1 Teknik Kimia di Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Selama studi program Strata-1, penulis melakukan penelitian di Laboratorium Pengolahan Limbah Industri yang berjudul "Bahan Bakar Alternatif dari Limbah Plastik *Polypropylene* Menggunakan Metode Pirolisis *Microwave*" yang merupakan tahapan penulis dalam menempuh pendidikan tahap sarjananya. Penulis pernah melakukan kerja praktek di PT Pupuk Sriwidjaja, selama kegiatan kerja praktek penulis belajar mengenai *Hazard and Operability Study* (HAZOP) dan *risk assessment* dari unit pabrik urea. Selama berkuliah penulis aktif di organisasi kerohanian kampus Kajian Islam Nurul 'Ilmi di bidang syiar dan jaringan, organisasi intra kampus Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia di bidang kewirausahaan, serta pernah menjadi asisten laboratorium Mikrobiologi Industri di Departemen Teknik Kimia FTI-ITS.

RIWAYAT PENULIS

Riandrika Iman Setyono

Penulis dilahirkan di Nganjuk, 7 Juni 1996, merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu MI Nahdlatul Ulama Pucang Sidoarjo, SMP Negeri 5 Sidoarjo, SMA Negeri 1 Sidoarjo, dan S1 Teknik Kimia FTI-ITS. Selama kuliah di Teknik Kimia, penulis pernah melaksanakan kerja praktek di PT. Semen Tonasa, Kabupaten Pangkep. Sulawesi Selatan.

Email : ryantdrika@gmail.com