

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

Arief Febrianto, Diki Dinar Ramadhika, Dr. Ir. Sri Rachmania Juliastuti, M.Eng., dan Ir. Nuniek Hendriane M.T.

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia  
e-mail: juliaz30@chem-eng.its.ac.id

**Abstrak** – Peningkatan konsumsi energi dan peningkatan timbunan sampah merupakan dua permasalahan yang muncul seiring dengan pertumbuhan ekonomi dan pertambahan penduduk. Untuk mengatasi masalah sampah, khususnya limbah plastik, para pakar lingkungan dan ilmuwan dari berbagai disiplin ilmu telah melakukan berbagai penelitian dan tindakan. Salah satu caranya dengan mendegradasi limbah plastik kemasan multilayer LDPE (*Low Density Polyethylene*) dengan proses pirolisis konvensional dan pirolisis microwave. Tujuan dari percobaan ini adalah untuk mengetahui pengaruh suhu dan waktu proses pirolisis konvensional dan pirolisis microwave dalam mendegradasi limbah plastik LDPE dan membandingkannya. Proses pirolisis dilakukan menggunakan reaktor tertutup semi batch stainless steel unstirred berkapasitas 3,5 dm<sup>3</sup> operasi pada tekanan dalam reaktor 1 atm dan dialirkan nitrogen 0,5 L/min. Sampel limbah plastik yang digunakan sebanyak 60 gram plastik jenis low density polietilen (LDPE). Sampel dipanaskan sampai suhu 250, 350, atau 500 °C dan dipertahankan pada variabel waktu yaitu selama 10, 30, dan 60 menit. Cara tersebut dilakukan juga pada proses pirolisis microwave menggunakan reaktor kaca. Produk liquid dianalisa dengan gas chromatography–mass spectrometry (GC-MS), gas tak terkondensasi dianalisa dengan gas kromatografi (GC) dan bahan baku dianalisa menggunakan Fourier Transform infrared (FTIR) dan menghitung yield produk cair, padat dan konsentrasi gas. Dari hasil percobaan didapatkan pirolisis microwave lebih baik dibandingkan pirolisis konvensional pada kondisi operasi 500°C 60 menit dengan yield padat sebesar 4,67%, yield cair sebesar 23,65%, dan konsentrasi CH<sub>4</sub> sebesar 30,41% daripada konvensional pada kondisi operasi yang sama diperoleh yield padat sebesar 9,50%, yield cair sebesar 15,77%, dan konsentrasi CH<sub>4</sub> sebesar 30,78%.

**Kata kunci** – pirolisis konvensional, pirolisis microwave, limbah plastik kemasan multilayer low density polyethylene (LDPE).

## I. PENDAHULUAN

Peningkatan konsumsi energi dan penimbunan sampah merupakan dua permasalahan yang muncul seiring dengan pertumbuhan ekonomi dan pertambahan penduduk. Menteri Lingkungan hidup, Balthasar Kambuaya, Sabtu 14 April 2012

saat meresmikan Bank Sampah di Palembang mengatakan bahwa rata-rata penduduk Indonesia menghasilkan sekitar 2,5 liter sampah per hari atau 625 juta liter dari jumlah total penduduk. Kondisi ini akan terus bertambah sesuai dengan kondisi lingkungannya.

Plastik dibuat dari bahan sintesis, umumnya menggunakan minyak bumi sebagai bahan dasar, ditambah bahan-bahan tambahan yang umumnya merupakan logam berat (kadmium, timbal, nikel) atau bahan beracun lainnya seperti *chlor*. Racun dari plastik ini terlepas pada saat terurai atau terbakar (Linarfad, 2012).

Penguraian plastik akan melepaskan berbagai jenis logam berat dan bahan kimia lain yang dikandungnya. Bahan kimia ini terlarut dalam air atau terikat di tanah, dan kemudian masuk ke tubuh kita melalui makanan dan minuman.

Tidak semua plastik aman untuk digunakan oleh manusia. Ada plastik yang memiliki kandungan berbahaya sehingga sama sekali tak boleh digunakan sebagai wadah makanan ataupun minuman, ada plastik yang hanya boleh sekali dipakai, ada pula jenis plastik yang boleh dipakai berulang kali. Berikut adalah kode jenis plastik yang umum digunakan sebagai kemasan makanan dan minuman.

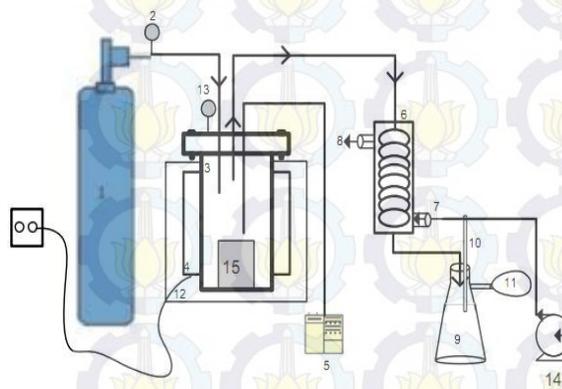
Untuk mengatasinya, para pakar lingkungan dan ilmuwan dari berbagai disiplin ilmu telah melakukan berbagai penelitian dan tindakan. Salah satunya dengan mendaur ulang limbah plastik. Alternatif yang digunakan untuk mengurangi volume sampah plastik dibagi dalam tiga macam proses, yaitu daur ulang, transformasi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

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

Pirolisis konvensional merupakan suatu tipe proses pirolisis yang paling umum dengan menggunakan pemanasan langsung dari aliran listrik yang menjadi sumber panasnya. Sedangkan pirolisis microwave adalah proses pirolisis yang menggunakan gelombang mikro sebagai media pemanasnya. Gelombang mikro adalah gelombang elektromagnetik dengan frekuensi yang sangat tinggi, pada umumnya sebesar 2450 MHz dengan panjang gelombang 12,24 cm. Radiasi gelombang mikro yang diserap suatu benda akan menghasilkan efek pemanasan pada benda tersebut dan hal inilah yang menyebabkan suatu material tersebut menjadi panas tanpa disertai O<sub>2</sub> (Henry Lee, 2000).

II. URAIAN PENELITIAN

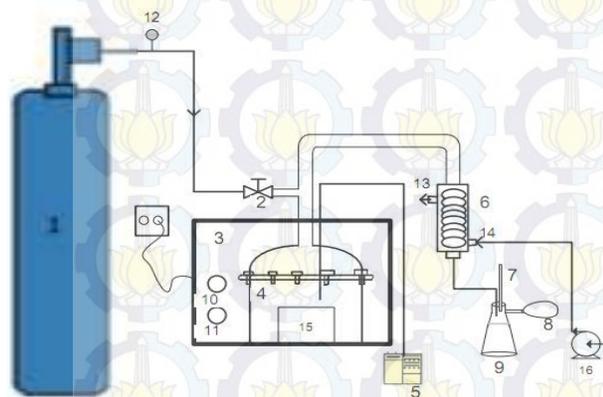
A. Deskripsi Peralatan



Gambar II.1. Skema proses pirolisis konvensional

Keterangan :

- 1) Tabung nitrogen 2) Rotameter 3) Reaktor pirolisis 4) Electric furnace 5) Thermocouple 6) Kondensor reflux 7) Inlet air pendingin 8) Outlet air pendingin 9) Penampung liquid 10) Termometer 11) Penampung gas 12) Isolator 13) Pressure gauge 14) Pompa 15) Tempat sampel



Gambar II.2. Skema proses pirolisis microwave

Keterangan :

- 1) Tabung nitrogen 2) Valve 3) Microwave oven 4) Reaktor 5) Thermocouple 6) Kondensor reflux 7) Termometer 8) Penampung gas 9) Penampung liquid 10) Pengatur daya 11) Pengatur waktu 12) Rotameter 13) Outlet air pendingin 14) Inlet air pendingin 15) Tempat sampel 16) Pompa

B. Prosedur Penelitian

1) Persiapan Bahan Baku

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

2) Pirolisis

Proses pirolisis konvensional dilakukan menggunakan reaktor tertutup *semi batch stainless unstirred steel* berkapasitas 3,5 dm<sup>3</sup> operasi pada tekanan 1 atm. Pertama menyiapkan sampel dari limbah plastik yang sudah di treatment. Sampel 60 gr ditempatkan ke dalam reaktor dan nitrogen dialirkan ke dalam reaktor. Kemudian, sampel dipanaskan, dipertahankan pada variabel waktu dan suhu. Pengambilan produk (padat, cair, gas) dilakukan setelah percobaan selesai dilakukan, kemudian produk dalam bentuk padat ditimbang untuk mengetahui massa produk. Dan menghitung yield produk padatnya. Proses Pirolisis *microwave* dilakukan prosedur yang sama dengan pirolisis konvensional, bedanya dalam pirolisis *microwave* sampel 60 gr dimasukkan kedalam reaktor kaca bervolume 1000 ml.

3) Kondensasi

Dalam tiap pengerjaan setiap uap meninggalkan reaktor dialirkan ke rangkaian air pendingin gas-cair separator, dimana liquid terkondensasi dikumpulkan dan bagian gas yang tak terkondensasi akan dikumpulkan dalam penampung gas.

C. Analisa Produk

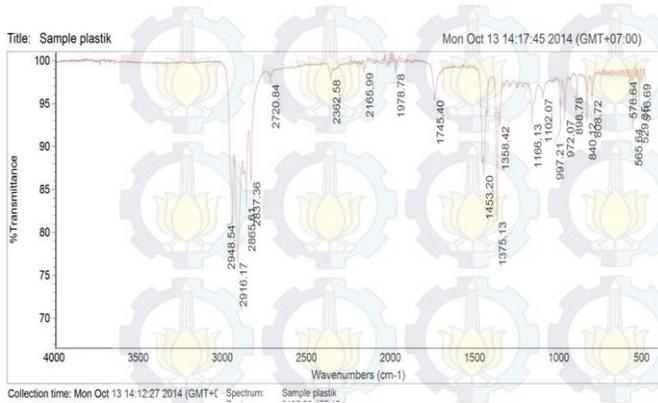
Analisa dilakukan menggunakan *Gas Chromatography–Mass Spectrometry* (GC-MS) untuk hasil liquid berdasarkan masing-masing variabel suhu dan waktu. Gas yang tak terkondensasi akan dianalisa menggunakan *Gas Chromatography* (GC). Sedangkan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) akan digunakan untuk menganalisa sampel yang berbentuk padat.

III. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini bahan baku yang digunakan adalah plastik jenis *low density polyethylene* (LDPE). LDPE merupakan plastik yang dihasilkan dari proses polimerisasi etilen menjadi polietilen.



Analisa bahan baku menggunakan Spektrofotometer *Fourier Transform Infra Red* (FTIR), akan diperoleh spektrum FTIR, yang menunjukkan puncak atau *peak* yang teridentifikasi oleh alat. Gas yang akan dianalisa adalah CH<sub>4</sub> dan CO<sub>2</sub> dengan alat *Gas Chromatography* (GC) sedangkan untuk produk liquid dianalisa menggunakan alat *Gas Chromatography–Mass Spectrometry* (GC-MS) untuk mengetahui yield produk liquid. Gas dan liquid tersebut masing-masing dianalisa untuk hasil proses dari pirolisis konvensional dan pirolisis *Microwave*.

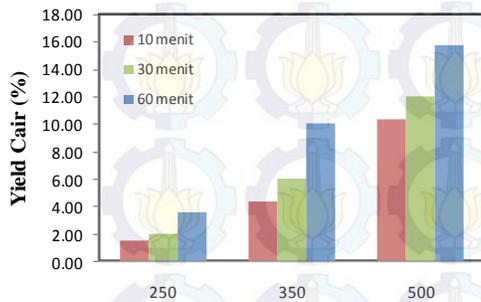


Gambar III.1 Spektrum FTIR LDPE

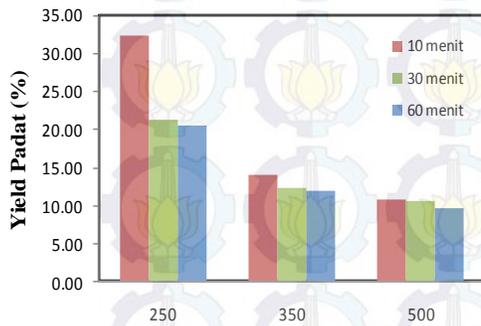
No	Frekuensi (cm <sup>-1</sup> )	Gugus Fungsi
1	2916.17	C-H (alkana)
2	2362.58	C=H (alkena)
3	1453.20	-C-NO <sub>2</sub> (nitro aromatik)
4	1375.13	C-C (alkana rantai panjang)
5	1745.40	C-H-O (Ester)
6	972.07	Al-O

Tabel III.1. Gugus dari *peak* hasil FTIR

**Yield Produk Liquid dan Solid Hasil Pirolisis Konvensional**

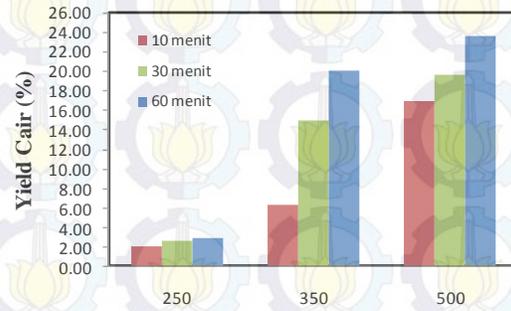


Gambar III.2. Yield cair pada variabel suhu (°C) dan waktu

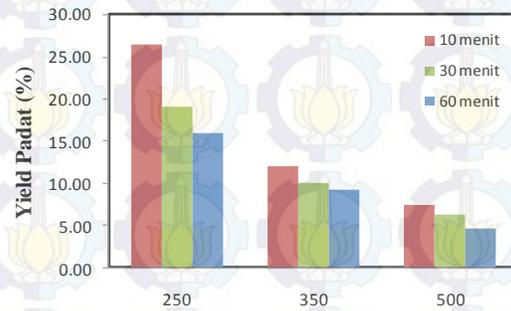


Gambar III.3. Yield padat pada variabel waktu dan suhu (°C)

**Yield Produk Liquid dan Solid Hasil Pirolisis Microwave**

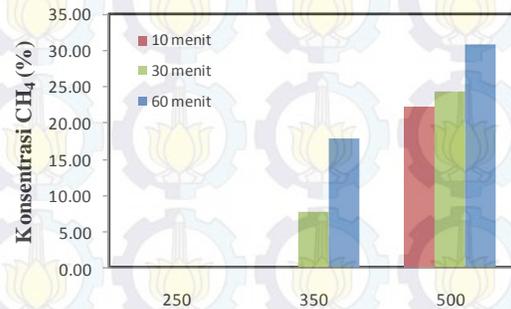


Gambar III.4. Yield cair pada variabel waktu dan suhu (°C)

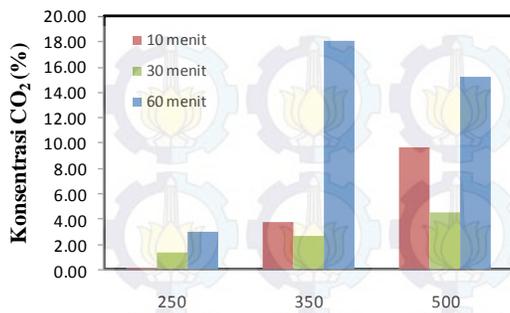


Gambar III.5. Yield padat pada variabel waktu dan suhu (°C)

**Konsentrasi Produk Gas Hasil Pirolisis Konvensional**

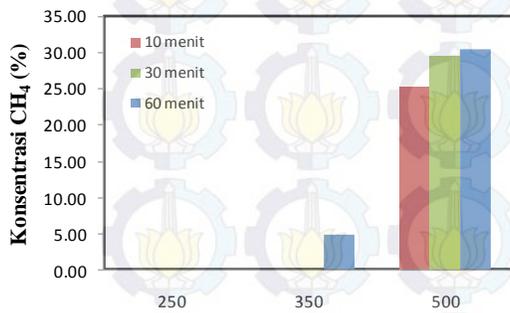


Gambar III.6. Konsentrasi gas CH<sub>4</sub> pada variabel waktu dan suhu (°C)



Gambar III.7. Konsentrasi gas CO<sub>2</sub> pada variabel waktu dan suhu (°C)

**Konsentrasi Produk Gas Hasil Pirolisis Microwave**



Gambar III.8. Konsentrasi gas CH<sub>4</sub> pada variabel waktu dan suhu (°C)



Gambar III.9. Konsentrasi gas CO<sub>2</sub> pada variabel waktu dan suhu (°C)

**IV. KESIMPULAN**

Proses pirolisis pada umumnya pada degradasi limbah plastik akan menghasilkan produk berupa *gas, ash & tar* pada berbagai jenis plastik (Angga, 2013). Analisa FTIR sampel menunjukkan bahwa plastik atau bahan baku bermerk “chiki balls” merupakan salah satu jenis LDPE berdasarkan gugus fungsi yang diketahui yaitu senyawa alkena dari polietilen. Senyawa aditif (zat warna) dari plastik multilayer yang mengalami perubahan struktur molekul dari gugus fungsi ester yaitu phthalate yang mempunyai titik lebur 230°C menjadi

phenylnaphthalene dan naphthalene. Hasil produk padat dari plastik multilayer hasil proses pirolisis menghasilkan senyawa logam berupa aluminium (Al) yang tidak terurai karena memiliki titik lebur 720°C. Proses pirolisis baik secara konvensional ataupun *microwave* dijalankan dengan variabel suhu 250, 350 dan 500°C serta waktu selama 10, 30, dan 60 menit. Berdasarkan hasil analisa produk liquid, yield yang paling besar didapatkan pada kondisi operasi bertemperatur 500°C selama 60 menit. Untuk proses pirolisis konvensional diperoleh yield liquid sebesar 13,75% dan untuk proses pirolisis *microwave* sebesar 20,63%. Hal ini menunjukkan bahwa proses pirolisis bila semakin tinggi suhu operasi dan waktu proses yang lama maka nilai yield cairnya semakin meningkat. Yield padat akan semakin berkurang seiring dengan meningkatnya yield cair berdasarkan variabel waktu dan suhu, hal ini membuktikan bahwa padatan akan terkonversi menjadi gas dan liquid selama proses berjalan. Konsentrasi produk gas CH<sub>4</sub> akan semakin terbentuk dengan meningkatnya suhu dan waktu proses, sama seperti sifat dari produk liquid bahwa semakin banyak padatan yang terkonversi menjadi gas dan liquid dengan suhu proses tertinggi dan waktu proses terlama (Khalimatus, 2013). CO<sub>2</sub> pada gambar dari hasil analisa untuk keterangan dari konsentrasinya pada proses pirolisis konvensional mempunyai keberadaan disetiap variabel kecuali pada suhu 250°C dengan waktu 10 menit. Sedangkan untuk konsentrasi gas CO<sub>2</sub> pada pirolisis *microwave*, gas akan mulai terbentuk pada variabel suhu 350°C dengan waktu proses 60 menit. Perbedaan dari hasil analisa gas CO<sub>2</sub> ini menunjukkan bahwa media pemanas dari masing-masing proses mempunyai efek pada hasil gas CO<sub>2</sub> yang akan terbentuk, meskipun begitu produk gas CO<sub>2</sub> untuk pirolisis *microwave* lebih stabil daripada pirolisis konvensional. Proses pirolisis dapat digunakan untuk mengolah limbah plastik kemasan *multilayer* LDPE menjadi produk yang potensial sebagai bahan baku untuk bahan bakar. Proses pirolisis menggunakan *microwave* lebih baik karena dari distribusi temperatur merambat dari gelombang mikro ke inti bahan baku kemudian ke luar meninggalkan sampel, sedangkan untuk pirolisis konvensional prinsip untuk distribusi temperaturnya berkebalikan dari luar ke inti bahan baku (Andrea Undri, 2014). Pirolisis yang lebih baik adalah pirolisis *microwave* ditinjau dari yield liquid, yield padat dan yield gas CH<sub>4</sub> pada kondisi 500°C selama 60 menit dengan yield padat sebesar 4,67%, yield cair sebesar 23,65%, dan konsentrasi CH<sub>4</sub> sebesar 30,41% daripada pirolisis konvensional pada kondisi operasi yang sama diperoleh yield padat sebesar 9,50%, yield cair sebesar 15,77%, dan konsentrasi CH<sub>4</sub> sebesar 30,78%.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Angga. 2013. “Pembuatan Stirena dari Limbah Plastik dengan Metode Pirolisis.” ITS Surabaya.
- [2] Khalimatus. 2013. “Pengaruh Waktu, Suhu dan Jumlah Katalis Zeolit Alam pada Produk Proses Pirolisis Limbah Plastik Polipropilen (PP).” ITS Surabaya.
- [3] Linafad, Hidrokarbon. <http://linafad.wordpress.com>. diakses pada tanggal 12 November 2012.
- [4] Lee, Henry. 2000. “How Microwaves Work.”, Colorado University.

- [5] Rodiansono, Wega Trisunaryanti dan Triyono, 2007, Preparation, Characterization and Activity Test of NiMo/Z and NiMo/Z-Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Catalysts for Hydrocracking of Waste Plastic Fraction to Gasoline Fraction, Berkala MIPA, 17 (2).
- [6] Undri, A., Rosi, L., Frediani, M., and Frediani, P., 2014, Fuel from Microwave Assisted Pyrolysis of Waste Multilayer Packaging Beverage, University of Florence., Firenze, Italy.

