



Pengolahan Limbah Plastik Kemasan *Multilayer Ldpe (Low Density Poly Ethilene)* dengan Menggunakan Metode *Pirolisis Microwave*

S. R. Juliastuti^{1*}, Nuniek Hendrianie², Arief Febrianto³, Diki Dinar Ramadhika⁴

¹Jurusan Teknik Kimia, FTI, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: sjuliastuti@yahoo.co.id

Abstract

Increased energy consumption and waste generation are two problems that rise due to economic and population growth. To overcome the problem, especially plastic waste, environmental experts and scientists from various disciplines have conducted various studies and actions. One way is to degrade the Low Density Polyethylene plastic waste multilayer packaging by microwave pyrolysis. The purpose is to determine the effect of temperature and time when degrading the LDPE plastics waste by microwave pyrolysis. The processes done with operating condition of pressure at 1 atm and nitrogen flowed at 0.5 L / min in glass reactor. Samples are used as much as 60 grams of LDPE plastics. The sample is heated to a temperature of 250, 350, and 500°C it's maintained at variable time for 10, 30, and 60 minutes. Liquid products were analyzed by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS), non-condensable gas was analyzed by gas chromatography (GC), raw material samples were analyzed using Fourier Transform Infrared (FTIR) and calculating the yield of liquid products, solid and concentration of gas. From the experimental results are obtained that microwave pyrolysis best operating conditions is at 500°C of 60 minutes with 4.67% yield of solid, 23.65% liquid, and concentration of CH₄ 30.41%.

Keywords: pyrolysis, microwave pyrolysis, LDPE, low density polyethylene, multilayer packaging plastic waste.

Pendahuluan

Peningkatan konsumsi energi dan penimbunan sampah merupakan dua permasalahan yang muncul seiring dengan pertumbuhan ekonomi dan penambahan penduduk. Menteri Lingkungan hidup, Balthasar Kambuaya, Sabtu 14 April 2012 saat meresmikan Bank Sampah di Palembang mengatakan bahwa rata-rata penduduk Indonesia menghasilkan sekitar 2,5 liter sampah per hari atau 625 juta liter dari jumlah total penduduk. Kondisi ini akan terus bertambah sesuai dengan kondisi lingkungannya. Estimasi jumlah timbunan sampah di Indonesia pada tahun 2008 mencapai 38,5 juta ton/tahun dengan komposisi terbesar adalah sampah organik (58 %), sampah plastik (14 %), sampah kertas (9 %) dan sampah kayu (4 %). Salah satu permasalahan penting mengenai lingkungan di dunia ataupun di Indonesia khususnya, adalah mengenai sampah plastik. Data dari Kementerian Lingkungan Hidup Indonesia menunjukkan bahwa jumlah sampah plastik yang terbuang mencapai 26.500 ton per hari. Sampah dunia ternyata didominasi oleh sampah plastik dengan persentase 32%. Meningkatnya jumlah sampah plastik ini menjadi sebuah hal yang dapat mengancam kestabilan ekosistem lingkungan, mengingat plastik yang digunakan saat ini adalah *nonbiodegradable* (plastik yang tidak dapat terurai secara biologis).

Barang berbahan baku plastik umumnya lebih ringan, bersifat isolator, mudah dalam perancangan, dan biaya pembuatan murah. Sayangnya, dibalik segala kelebihan itu, limbah plastik menimbulkan masalah bagi lingkungan. Penyebabnya tak lain sifat plastik yang tidak dapat diuraikan dalam tanah. Perlu waktu berpuluh-puluh tahun untuk tanah menguraikan limbah-limbah dari bahan plastik. Rodiansono, dkk (2007) menyatakan bahwa untuk mengatasi limbah plastik, para pakar lingkungan dan ilmuwan dari berbagai disiplin ilmu telah melakukan berbagai penelitian dan tindakan. Beberapa alternatif yang digunakan untuk mengurangi volume sampah plastik dibagi dalam tiga macam proses, yaitu daur ulang, transformasi termal dan transformasi biologis. Proses transformasi termal terbagi tiga macam pengolahan, yaitu *combustion*, *gasification* dan *pyrolysis*. Pirolisis yaitu pemanasan pada kondisi bebas oksigen. Dalam proses pirolisis umumnya adalah mendegradasi suatu senyawa-senyawa yang terdapat dalam suatu material untuk memecahnya menjadi senyawa-senyawa parsial. Dalam suatu penelitian yang sudah sering dilakukan adalah bertujuan untuk mengambil senyawa hidrokarbon dalam suatu bentuk ikatan plastik. Senyawa turunan hidrokarbon mempunyai kegunaan yang sangat banyak dan mencakup semua bidang kehidupan. Hidrokarbon (minyak dan gas) mayoritas digunakan sebagai bahan bakar untuk menghasilkan energi dan untuk memanaskan ruangan (<http://linarfad.wordpress.com>, 2012).

Keane (2009) menyatakan dalam penelitiannya bahwa hal utama yang harus mendapat perhatian khusus pada proses pirolisis adalah reaksi pemotongan rantai molekul, karena saat proses pirolisis berjalan terjadi pemotongan



secara acak yang menghasilkan fraksi-fraksi molekul dengan aneka berat molekul (distribusi variasi molekul yang lebar). Angga (2013) melalui penelitiannya terhadap polistiren (PS) limbah plastik pada saat terdegradasi untuk memutus rantai utama polimer PS mengalami inisiasi degradasi pada suhu 380°C dengan kecepatan peluruhan rendah. Pada spektrum FTIR (Fourier Transfer Infra Red) panjang gelombang ini menunjukkan bahwa adanya gugus C-H aromatik. Khalimatus (2013) dengan penelitian pirolisis menggunakan bahan limbah plastik jenis polipropilen (PP) menunjukkan bahwa dengan jenis plastik ini gugus fungsi C-H yang paling banyak dihasilkan adalah alkana dan alkena. Hal ini sesuai karena polipropilen tersusun dari senyawa alkana yang memiliki cabang metil.

Pirolisis berdasarkan jenisnya terbagi menjadi 2 yaitu pirolisis primer dan pirolisis sekunder. Pirolisis primer adalah proses pembentukan arang yang terjadi pada suhu 150°C – 300°C. Proses pengarangan ini terjadi karena adanya energi panas yang mendorong terjadinya oksidasi sehingga suatu senyawa karbon yang kompleks terurai sebagian besar menjadi karbon atau arang. Pirolisis sekunder adalah proses lanjutan perubahan arang/karbon lebih lanjut menjadi karbon monoksida, gas hidrogen dan gas – gas hidrokarbon.

Lee, dkk (2000) menterjemahkan dalam penelitian pirolisis berdasarkan media pemanas terbagi menjadi 2 tipe yaitu pirolisis konvensional dan pirolisis *microwave*. Pirolisis konvensional merupakan suatu tipe proses pirolisis yang paling umum dengan menggunakan pemanasan langsung dari aliran listrik yang menjadi sumber panasnya. Sedangkan pirolisis *microwave* adalah proses pirolisis yang menggunakan gelombang mikro sebagai media pemanasnya. Gelombang mikro adalah gelombang elektromagnetik dengan frekuensi yang sangat tinggi, pada umumnya sebesar 2450 MHz dengan panjang gelombang 12,24 cm. Radiasi gelombang mikro yang diserap suatu benda akan menghasilkan efek pemanasan pada benda tersebut dan hal inilah yang menyebabkan suatu material tersebut menjadi panas tanpa disertai O₂.

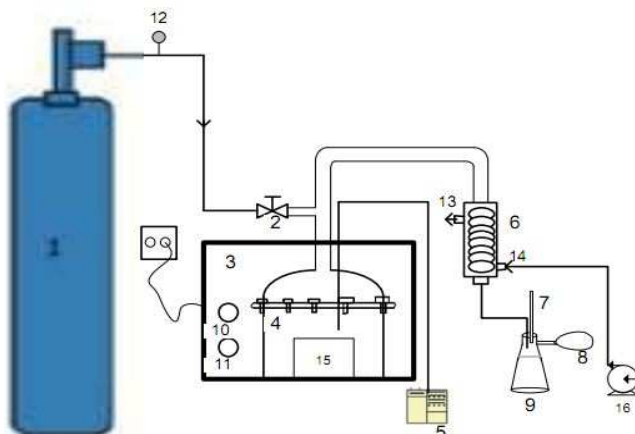
Tujuan dari penelitian ini diharapkan dapat mengetahui pengaruh suhu dan waktu dari proses pirolisis *microwave* dalam mendegradasi limbah plastik kemasan multilayer LDPE serta mendapatkan jumlah dari yield padat, yield liquid, dan konsentrasi gas yang diperoleh. Memberikan alternatif proses dalam mendegradasi limbah plastik jenis LDPE untuk mengurangi penimbunan sampah dan membuatnya menjadi lebih berguna.

Metodologi

Penelitian ini dilakukan pada kondisi operasi pada tekanan 1 atm, kecepatan rate nitrogen 0,5 L/min, dan dengan berat sampel 60 gram. Variabel proses dilakukan dengan variasi waktu 10, 30, 60 menit dan suhu 250, 350, 500°C. Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah limbah LDPE, air, dan gas N₂

Alat-alat yang digunakan pada pirolisis *microwave* antara lain :

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



Gambar 1. Skema Peralatan Proses Pirolisis *Microwave*

Prosedur Penelitian

Ada 3 langkah dalam penelitian ini yaitu:

A. Persiapan Bahan

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

B. Proses Pirolisis

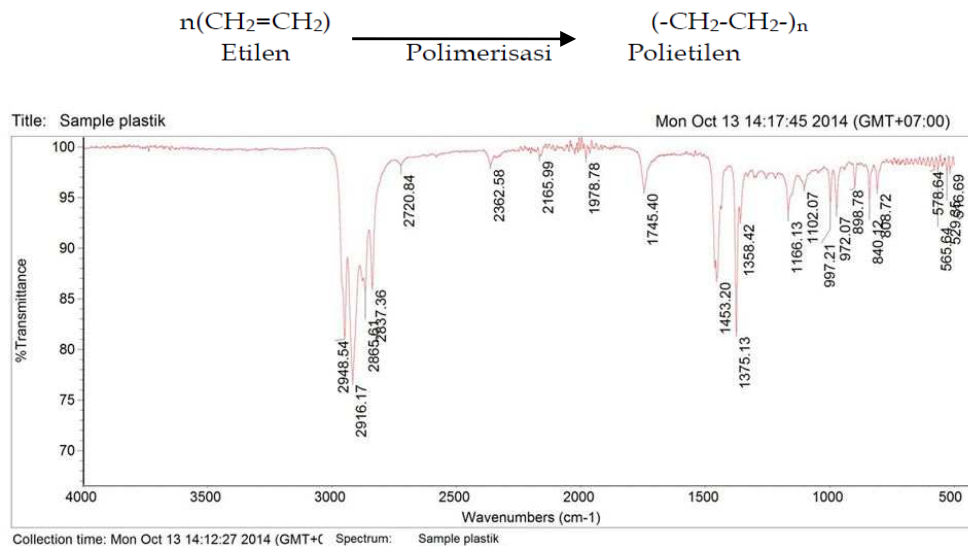
Menyiapkan sampel dari limbah plastik yang sudah di pre-treatment sebanyak 60 gr dan ditempatkan ke dalam reaktor serta mengalirkan nitrogen ke dalam reaktor yang diletakkan dalam microwave. Microwave dioperasikan dan sampel mulai dipanaskan, serta dipertahankan pada variabel waktu dan suhu tertentu. Pengambilan produk (padat, cair, gas) dilakukan setelah percobaan selesai dilakukan, kemudian produk dalam bentuk padat ditimbang untuk mengetahui yield produk padatnya.

C. Kondensasi

Dalam tiap run setiap uap meninggalkan reaktor dialirkan ke rangkaian air kondensor, dimana liquid terkondensasi dikumpulkan dan dianalisa menggunakan *gas chromatography-mass spectrometry* (GC-MS) dan dibahas berdasarkan pengaruh kondisi operasi suhu dan waktu. Produk yang tidak terkondensasi dilewatkan dan dikumpulkan secara keseluruhan dalam penampung gas, untuk kemudian dianalisa menggunakan *gas chromatography* (GC).

Hasil dan Pembahasan

Pada penelitian ini bahan baku yang digunakan adalah plastik jenis *low density polyethylene* (LDPE). LDPE merupakan plastik yang dihasilkan dari proses polimerisasi. Polimerisasi dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu polimerisasi dalam bejana bertekanan tinggi (100-300 atm) menghasilkan molekul makro dengan banyak percabangan yakni campuran dari rantai lurus dan bercabang. Cara kedua, polimerisasi dengan bejana bertekanan rendah (10-40 atm) menghasilkan molekul makro berantai lurus dan tersusun paralel. Reaksi yang terjadi seperti dibawah ini :



Gambar 2. Spektrum FTIR Bahan Baku LDPE

Dari gambar 2 berdasarkan hasil analisa bahan baku menggunakan Spektrofotometer *Fourier Transform Infra Red* (FTIR), diperoleh spektrum FTIR yang menunjukkan puncak atau *peak* yang teridentifikasi oleh alat. Secara umum terdapat 4 *peak* yang menonjol, seperti yang ditunjukkan pada tabel di bawah ini:

Tabel 1. Hasil Analisa FTIR

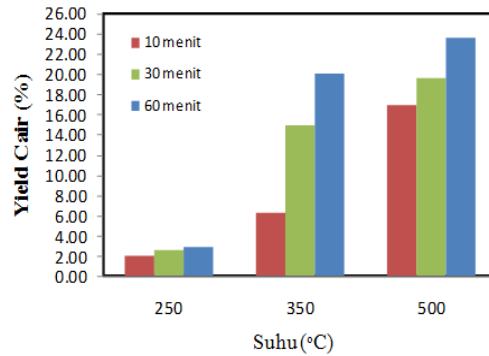
No	Frekuensi (cm ⁻¹)	Gugus Fungsi
1	2916.17	C-H (alkana)
2	2362.58	C=H (alkena)
3	1453.20	-C-NO ₂ (nitro aromatik)
4	1375.13	C-C (alkana rantai panjang)

Gugus fungsi yang paling banyak adalah senyawa alkana dan alkena. Hal itu sesuai dengan gugus polietilen yang tersusun dari senyawa alkana.

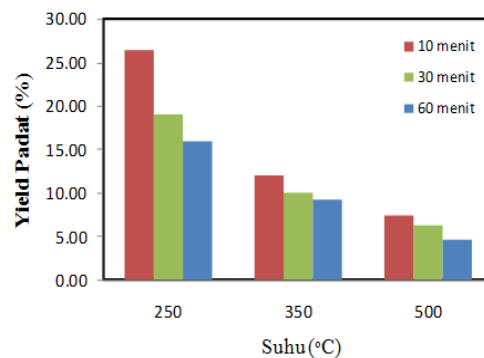
Yield Produk Liquid dan Solid Hasil Pirolisis Microwave

Pada gambar 3 menunjukkan peningkatan % yield cair untuk tiap variabel suhu dengan berbagai variabel waktu, dimana untuk pirolisis microwave % yield cair optimal didapat pada variabel waktu terlama dan suhu tertinggi yaitu pada waktu 60 menit dan suhu 500°C dengan % yield cair sebesar 20,63%. Hal ini sesuai teori dimana meningkatnya produk liquid hasil pirolisis dipengaruhi oleh lama waktu pirolisis, temperature pirolisis dan proses kondensasi yang

optimum karena faktor ini yang yang mempengaruhi proses degradasi dari hidrokarbon pada multilayer packaging (Undri dkk., 2014).



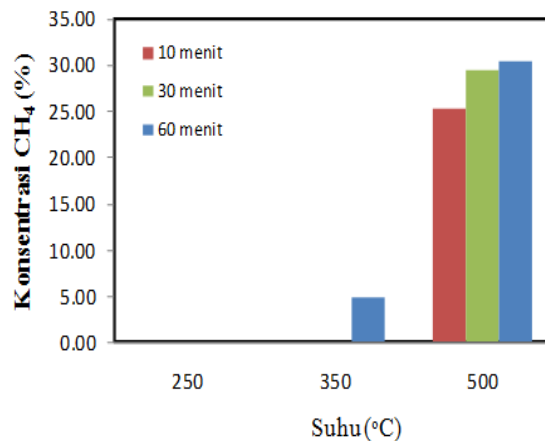
Gambar 3. % Yield cair dengan berbagai variabel waktu dan suhu.



Gambar 4. % Yield padat dengan berbagai variabel waktu dan suhu

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

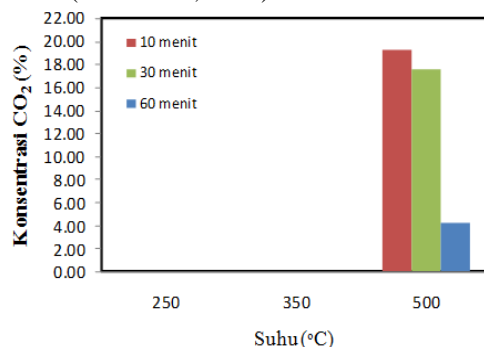
Yield Produk Gas Hasil Pirolisis Microwave



Gambar 5. % Konsentrasi gas CH₄ dengan berbagai variabel waktu dan suhu

Gambar 5 diperoleh hasil %konsentrasi CH₄ untuk tiap suhu dengan berbagai variabel waktu, dimana untuk %konsentrasi CH₄ pada suhu 250°C dengan berbagai variabel waktu belum terbentuk, sedangkan pada suhu 350°C pada variabel waktu 60 menit %konsentrasi CH₄ mulai terbentuk, sedangkan pada suhu 500°C dengan berbagai

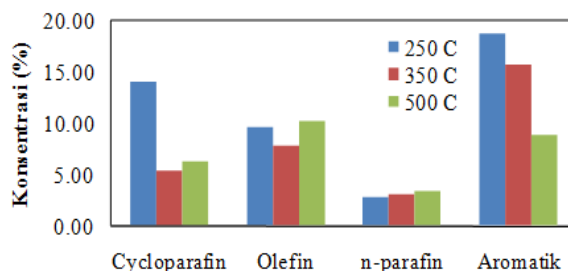
variabel suhu %konsentrasi CH_4 mengalami kenaikan. Tiap %konsentrasi CH_4 memiliki nilai yang berbeda untuk berbagai variabel suhu dan berbagai variabel waktu, dimana untuk pirolisis microwave %konsentrasi CH_4 lebih baik pada variabel waktu terlama dan suhu tertinggi yaitu pada waktu 60 menit dan suhu 500°C dengan %konsentrasi CH_4 sebesar 30,41%. Adapun ketidak sesuaian dengan teori dimana pada suhu 350°C dan waktu 10 dan 30 menit belum terbentuk %konsentrasi CH_4 hal ini disebabkan waktu proses terlalu singkat dan karbon aktif sebagai microwave absorber dalam reaktor untuk mengikat gas CH_4 yang terbentuk serta efisiensi pendingin yang kurang maksimal. Hal ini sesuai dengan teori bahwa gas yang dihasilkan pada proses pirolisis adalah hidrokarbon $\text{C}_1\text{-C}_4$ dan CO_x dimana pembentukannya terjadi pada temperatur $343\text{-}599^\circ\text{C}$. Peningkatan hasil produk dipengaruhi oleh waktu proses pirolisis dan temperature pirolisis (Undri dkk., 2014).



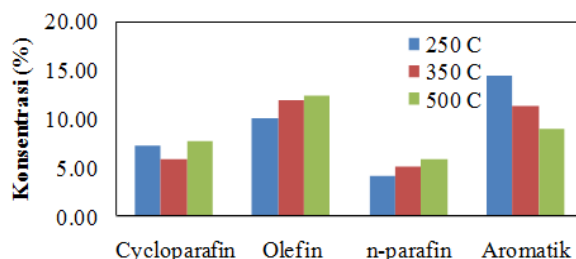
Gambar 6. % Konsentrasi gas CO_2 dengan berbagai variabel waktu dan suhu

Gambar 6 menunjukkan besar %konsentrasi CO_2 untuk tiap suhu dengan berbagai variabel waktu. Pada waktu 250 dan 350°C dengan berbagai variabel waktu, %konsentrasi CO_2 belum terbentuk, dan untuk suhu 500°C dari waktu 10,30 dan 60 menit mengalami penurunan %konsentrasi CO_2 . Adapun ketidak sesuaian dengan teori dimana pada suhu 350°C dengan berbagai variabel waktu belum terbentuk %konsentrasi CO_2 dan suhu 500°C waktu 10,30 dan 60 menit mengalami penurunan %konsentrasi CO_2 , hal ini dikarenakan waktu proses terlalu singkat dan karbon aktif sebagai microwave absorber dalam reaktor microwave yang mengikat gas CO_2 yang terbentuk serta efisiensi pendingin yang kurang maksimal. Dimana teori menjelaskan bahwa gas CO_x akan meningkat berdasarkan lama waktu proses (Undri dkk., 2014).

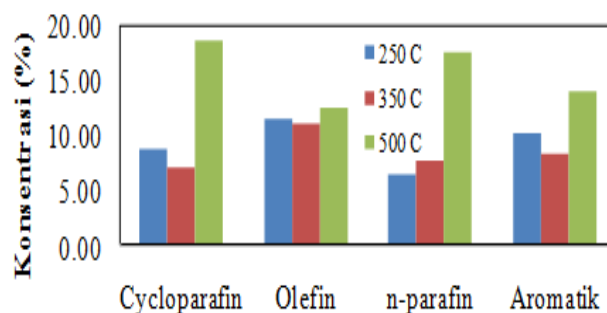
Pada percobaan ini produk utamanya adalah produk liquid karena molekul hidrokarbonnya sama dengan fraksi minyak bumi sehingga diharapkan bisa digunakan sebagai bahan bakar cair. Produk liquid hasil proses pirolisis dianalisa menggunakan *Gas Chromatography–Mass Spectrometry* (GC-MS).



Gambar 7. % Konsentrasi Gugus Hidrokarbon pada Variabel Waktu Pirolisis Microwave 10 Menit untuk Berbagai Variabel Suhu.



Gambar 8. %Konsentrasi gugus hidrokarbon pada variabel waktu pirolisis microwave 30 menit untuk berbagai variabel suhu.



Gambar 9. %Konsentrasi gugus hidrokarbon pada variabel waktu pirolisis microwave 60 menit untuk berbagai variabel suhu.

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

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

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian ini maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Proses pirolisis *microwave* dapat digunakan untuk mengolah limbah plastik LDPE menjadi produk yang potensial sebagai bahan baku untuk bahan bakar.
2. Proses pirolisis menggunakan *microwave* mendistribusikan temperatur merambat dari inti bahan baku ke luar bahan baku.
4. Kondisi yang terbaik pada penelitian ini yaitu pada kondisi operasi 500°C selama 60 menit dengan yield padat 4,67%, yield cair 23,65%, dan yield CH₄ 30,41%.

Daftar Pustaka

- Angga, 2013, Pembuatan Stirena dari Limbah Plastik dengan Metode Pirolisis, *Skripsi*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia.
- Keane, R., 2009, Catalytic transformation of waste polymers to fuel oil, *ChemSusChem.*, 2, 207-214.
- Khalimatus, 2013, Pengaruh Waktu, Suhu dan Jumlah Katalis Zeolit Alam pada Produk Proses Pirolisis Limbah Plastik Polipropilen (PP), *Master Thesis*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia.
- Lee, H., 2000, *How Microwaves Work*, Colorado University, United States.
- Linarfad, 2012. *Hidrokarbon*. <http://linarfad.wordpress.com>, 12 November 2012
- Rodiansono, Wega Trisunaryanti dan Triyono, 2007, Preparation, Characterization and Activity Test of NiMo/Z and NiMo/Z-Nb₂O₅ Catalysts for Hydrocracking of Waste Plastic Fraction to Gasoline Fraction, *Berkala MIPA*, 17 (2).
- Undri, A., Rosi, L., Frediani, M., and Frediani, P., 2014, Efficient Disposal of Waste Polyolefins through Microwave Assisted Pyrolysis, *Fuel.*, 116, 662-671.
- Undri, A., Rosi, L., Frediani, M., and Frediani, P., 2014, Fuel from Microwave Assisted Pyrolysis of Waste Multilayer Packaging Beverage, *Fuel.*, 133, 7-16



Lembar Tanya Jawab
Moderator : Yusuf Izidin (UPN "Veteran" Yogyakarta)
Notulen : Susanti Rina Nugraheni (UPN "Veteran" Yogyakarta)

1. Penanya : Dewi (UPN "Veteran" Yogyakarta)
Pertanyaan :
 - Apa uji FTIR?
 - Bagaimana jika gel mikro diperkecil atau diperbesar?Jawaban :
 - FTIR merupakan alat uji untuk mengukur gugus fungsi suatu sampel.
 - Microwave penghantar panasnya lebih cepat, karena prinsip perambatan panasnya dari inti keluar inti (radiasi), sehingga lebih efisien dari heating/pemanasan biasa. Dalam penelitian menggunakan microwave tipe rumah tangga dengan spek frekuensi 2450 MHz dan panjang gelombang 12,24 cm. Kalau diperbesar gelombang mikronya maka semakin cepat tercapai suhunya.

2. Penanya : Zainus Salimin (PUSPIPTEK)
Pertanyaan :
 - Apa fungsi dari N₂?
 - Kemanakah produk gas dan padatan?
 - Contoh LDPE yang digunakan?
 - Berapa banyak sampel yang digunakan dan padatan yang tertinggal (char)?Jawaban :
 - Untuk mendorong O₂ yang ada di dalam microwave sehingga tidak mengganggu proses pirolisis.
 - Produk-produk hidrokarbon (alkana, alkena) merupakan produk cair. Produk non condensable ditampung dalam tedlar bag berupa gas (CH₄, CO₂). Produk padat berupa char dalam reaktor.
 - Plastik chiki ball (makanan ringan) multilayer LDPE.
 - Sampel 60 gr limbah plastik multilayer LDPE. Padatan yang tertinggal pada suhu 500°C selama 60 menit adalah 4,67%.

