

**PENGARUH TEMPERATUR TERHADAP KARAKTERISTIK
PRODUK CAIR PADA DEGRADASI LIMBAH PLASTIK
POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (PET)
DENGAN KATALIS $\text{Ca}(\text{OH})_2$**

**EFFECT OF TEMPERATURE ON LIQUID PRODUCT
CHARACTERISTICS AT DEGRADATION OF PLASTIC WASTE OF
POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (PET)
WITH $\text{Ca}(\text{OH})_2$ AS CATALYST**

Muhammad Hanif

Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung

Jl.Prof.Soemantri Brojonegoro No.1 Gedong Meneng Bandar Lampung 35145

Email : muhammad.hanif@eng.unila.ac.id

Diterima 4 Desember 2015, direvisi 16 Januari 2016, diterbitkan 26 Februari 2016

ABSTRAK

*P*olyethylene terephthalate (PET) adalah salah satu jenis polimer termoplastik yang sangat luas aplikasinya dalam kehidupan masyarakat perkotaan. Karena penggunaannya yang luas, bahan polimer ini menimbulkan akumulasi limbah plastik perkotaan dalam jumlah yang tinggi sehingga penanganannya menimbulkan masalah ekonomi dan lingkungan. Pirolisis adalah salah satu proses perlakuan panas yang dapat diaplikasikan untuk tujuan daur ulang limbah plastik untuk menghasilkan produk-produk dengan nilai ekonomis lebih tinggi. Pirolisis adalah proses degradasi dengan suplai panas yang dilakukan tanpa oksigen atau dengan kondisi oksigen dalam jumlah yang sangat kecil, menghasilkan produk dalam bentuk padat, cair, dan gas. Pada penelitian ini dilakukan pirolisis menggunakan katalis $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dengan tujuan memaksimalkan produk cair dan memprediksi komposisi bahan kimia yang terkandung di dalamnya. Penelitian dilakukan dengan melakukan variasi temperatur maksimum operasi antara 300°C - 420°C pada rasio berat bahan baku : katalis tetap, sebesar 1:2. Dari hasil penelitian diperoleh persentase hasil produk cair yang menurun dengan naiknya temperatur dengan komposisi tertentu. Hasil terbaik pada penelitian ini adalah pada temperatur maksimum operasi 300°C dengan hasil produk cair sebesar 78,45%.

Kata-kata kunci: *polyethylene terephthalate*, pirolisis, Seminar Nasional Riset dan Industri 2015, prosiding

ABSTRACT

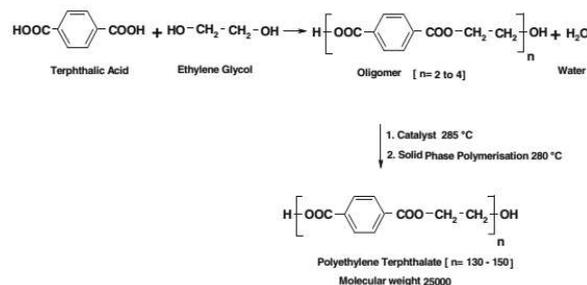
*P*olyethylene terephthalate (PET) is one of thermoplastic polymer that is widely used in the life of an urban community. Due to extensive usage, this polymer material causing the accumulation of urban plastic waste in high quantities so its handling cause economic and environmental problems. Pyrolysis is a process of heat treatment can be applied for the purpose of recycling plastic waste to produce products with a higher economic value. Pyrolysis is a process of degradation by heat supply is done without oxygen or with

oxygen conditions in very small quantities, produce products in solid, liquid, and gas. In this research, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ is used as catalyst with the objective of maximizing the liquid product and predict the composition of it chemicals contained. The research was conducted by operating the maximum temperature variation between 300°C - 420°C at a weight ratio of raw materials to catalyst remains to 1:2. The result showed that the percentage of liquid product yield decreases with increasing temperature with a specific composition. The best results in this study is at a maximum temperature operation of 300°C with liquid product yield of 78.45%.

Key words: polyethylene terephthalate, pyrolysis, Seminar Nasional Riset dan Industri 2015, proceedings

PENDAHULUAN

Plastik adalah salah satu komponen utama dari limbah padat perkotaan selain kertas, limbah organik, tekstil, gelas, logam, dan limbah lain dalam jumlah sedikit. Komposisi dan jumlah limbah padat perkotaan ini dapat berbeda untuk setiap kota atau wilayah yang dapat dipengaruhi oleh faktor sosio-ekonomi, tipe industri, letak geografis, iklim, dan level konsumsi. Pada beberapa negara ditemui peningkatan jumlah limbah padat perkotaan berbanding lurus dengan peningkatan jumlah penduduk [6]. Di Indonesia, estimasi timbunan sampah domestik adalah sebesar 38,5 juta ton/tahun, dengan 5,4 juta ton/tahun (14%) adalah limbah plastik [2]. *Polyethylene terephthalate* (PET) adalah salah satu jenis limbah plastik yang sering ditemui selain *polypropylene*, *polyethylene*, *polyvinyl chloride*, dan *polystyrene*. PET adalah keluarga poliester aromatik yang paling banyak diproduksi, dibuat melalui polimerisasi *terephthalic acid* dan *ethylene glycol* (gambar 1). PET adalah polimer semi kristalin yang ketika dipanaskan di atas 72°C akan berubah perilakunya dari keadaan seperti gelas yang kaku menjadi elastis seperti karet [8]. PET komersial meleleh diantara 255°C dan 265°C , namun kebanyakan kristal PET meleleh pada 265°C . PET murni mampu dikenali struktur dan morfologinya, terkait dengan transisi endotermik bertahap [3]. Berat molekul PET adalah 192 gr/mol yang terdiri dari 62,5% karbon (C), 33,3% oksigen (O), dan 4,2% hidrogen (H). Densitas PET sekitar $1,4 \text{ gr/cm}^3$ [4].



Gambar 1. Proses pembuatan PET [8].

Telah dilakukan berbagai upaya untuk mereduksi timbunan limbah padat perkotaan dengan proses degradasi termal maupun biologis. Pirolisis adalah salah satu proses degradasi termal yang dilakukan tanpa oksigen menghasilkan padatan karbon, cairan dan gas yang mudah terbakar [6]. Pirolisis berkaitan dengan dekomposisi termal pada temperatur moderat dan dalam total ketiadaan oksigen atau keberadaan oksigen dalam jumlah yang kecil [1]. Prabir Basu membedakan pirolisis berdasarkan laju pemanasannya. Berdasarkan laju pemanasan, pirolisis dibedakan menjadi pirolisis lambat dan pirolisis cepat. Pirolisis lambat adalah jika waktu pemanasan agak lebih panjang dibandingkan dengan waktu reaksi, sedangkan sebaliknya digolongkan ke dalam pirolisis cepat. Dalam aplikasinya pirolisis lambat dilakukan dengan tujuan mendapatkan produk padat (*char*) sebagai produk yang diinginkan, sedangkan untuk memaksimalkan produk cair diaplikasikan pirolisis cepat [7].

Beberapa penelitian pirolisis PET telah dilakukan dan dipublikasikan. Pirolisis PET dengan reaktor fluidisasi pada $510 - 730^\circ\text{C}$ dengan produk dominan gas dan padatan.

Produk cair dalam jumlah sedikit berupa *terephthalic acid*, *benzoic acid*, hidrokarbon alifatik dan aromatik [10]. Degradasi termal beberapa jenis limbah plastik secara individu, salah satunya PET pada 370 – 420°C kondisi vakum. Hasil yang diperoleh adalah gas dan padatan tanpa produk cair [9]. Pirolisis campuran *polyethylene terephthalate* (PET) dan *high density polyethylene* (HDPE) dengan katalis Fe_2O_3 dan karbon aktif, rasio HDPE : PET 3 : 1 pada 420°C dengan hasil produk cair mudah terbakar yang bercampur padatan, yang tersusun atas hidrokarbon dan senyawa organik yang mengandung C, H, dan O [5]. Pirolisis limbah plastik PET dengan katalis $\text{Ca}(\text{OH})_2$ pada 400 – 510°C dengan rasio berat katalis : PET adalah 2 : 1. Hasil produk cair yang berupa benzen, dan senyawa organik yang tersusun atas C, H, dan O [4]. Pada penelitian ini dilakukan pirolisis PET dengan katalis $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dengan rasio berat katalis terhadap PET 2 : 1. Tujuan penelitian adalah memaksimalkan hasil produk cair yang diperoleh dan juga mengetahui komposisi senyawa yang terkandung dalam produk cair. Temperatur maksimum operasi pirolisis dijaga pada 300°C, 350°C, 405°C, dan 420°C.

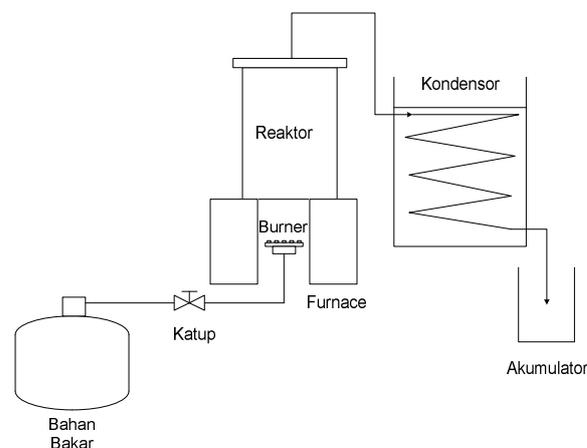
METODE

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah plastik PET yang diperoleh dari botol berkas, dicacah dalam ukuran 10mm x 10mm. Katalis yang digunakan adalah $\text{Ca}(\text{OH})_2$ berbentuk bubuk yang diperoleh dari PT. Brataco Indonesia. Bahan penunjang yang dibutuhkan adalah air pendingin.

Peralatan dan asesoris yang digunakan dalam penelitian ini adalah reaktor, *furnace*, katup, kondensor, dan akumulator. Skema alat penelitian ditunjukkan pada Gambar 2.

Peralatan yang digunakan untuk analisis adalah neraca analitis, piknometer, *gun thermometer*, dan GCMS – QP2010S SHIMADZU.



Gambar 2. Skema alat penelitian.

Prosedur Penelitian

Sebanyak 80 gram $\text{Ca}(\text{OH})_2$ diletakkan di dalam reaktor kemudian di atasnya diletakkan 80 gram cacahan limbah plastik PET dan kemudian 80 gram $\text{Ca}(\text{OH})_2$ diletakkan di atas lapisan limbah plastik PET.

Burner dinyalakan dan aliran bahan bakar diatur untuk mengatur laju pemanasan. Temperatur maksimum operasi dijaga konstan pada 405°C, dan waktu dicatat pada saat burner dinyalakan hingga tetesan akhir kondensat pada akumulator. Volume cairan yang ditampung dalam akumulator juga diukur.

Prosedur yang sama dilakukan untuk temperatur 420°C, 350°C, dan 300°C.

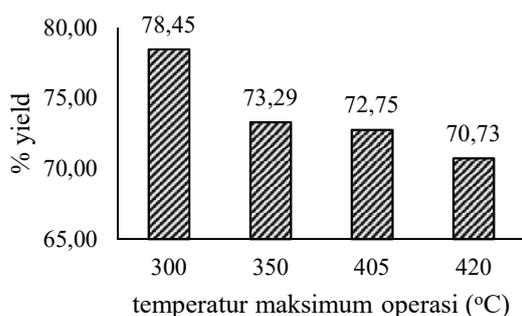
HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari penelitian diperoleh produk cair bening kekuningan dengan aroma khas *solvent*. Adapun hasil pengamatan dan pengukuran lainnya dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengamatan dan Pengukuran

T maksimum operasi (oC)	Waktu proses (menit)	Tetes pertama (menit ke-)	Volume cairan (ml)	Densitas (gr/ml)
300	38	7	62,0	1,012
350	35	6	58,0	1,011
405	33	6	57,5	1,012
420	25	4	56,0	1,010

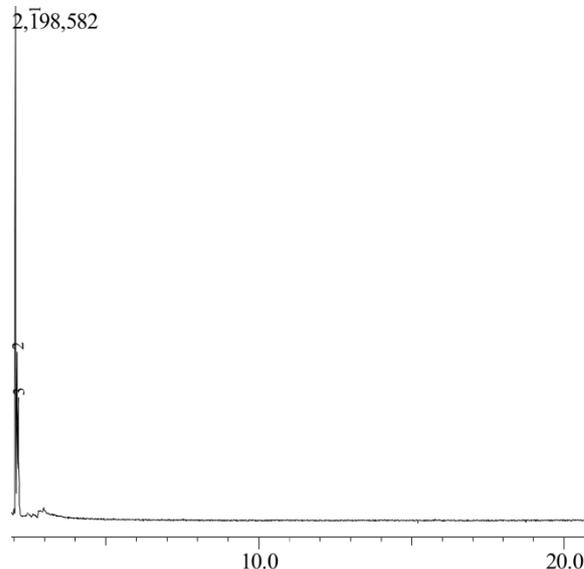
Penelitian ini dirancang untuk memaksimalkan jumlah produk cair yang dihasilkan dengan demikian dilakukan proses pirolisis cepat. Hal ini dapat dilihat dari waktu terjadinya tetesan kondensat pertama yang lebih cepat dibandingkan dengan waktu proses keseluruhan. Dari tabel dapat termati pengaruh temperatur yang dapat mempersingkat waktu proses dan mempercepat terbentuknya produk yang sesuai dengan konsep laju reaksi. Volume cairan dikonversikan mejadi massa dengan mengalikan volume dan densitas yang kemudian diperoleh perenstase hasil produk cair. Hubungan persentase produk cair yang dihasilkan terhadap temperatur maksimum opeasi ditunjukkan pada gambar 3.



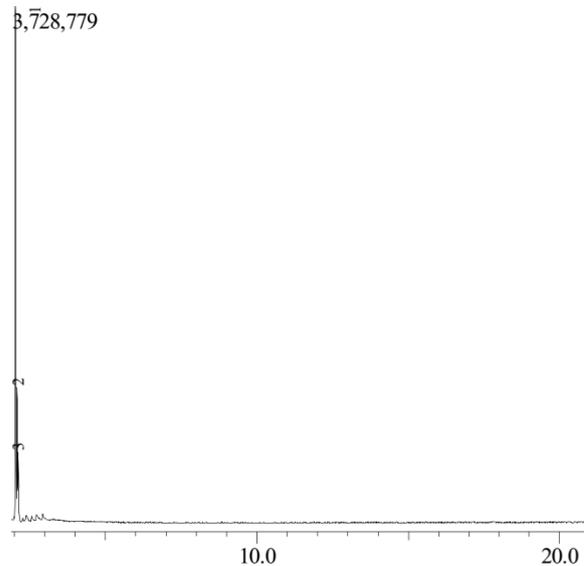
Gambar 3. Pengaruh temperatur maksimum operasi terhadap %hasil produk cair.

Dari gambar 3 terlihat jelas bahwa temperatur maksimum operasi yang dijaga tetap menurunkan persentase hasil produk cair yang dihasilkan. Untuk melihat bagaimana komposisi produk cair yang dihasilkan pada temperatur maksimum operasi yang berbeda-beda dilakukan

analisis GC/MS dengan menggunakan GCMS-QP2010S SHIMADZU. Gambar 4 sampai dengan 6 menunjukkan grafik gas kromatogram pada untuk temperatur maksimum operasi tertentu.



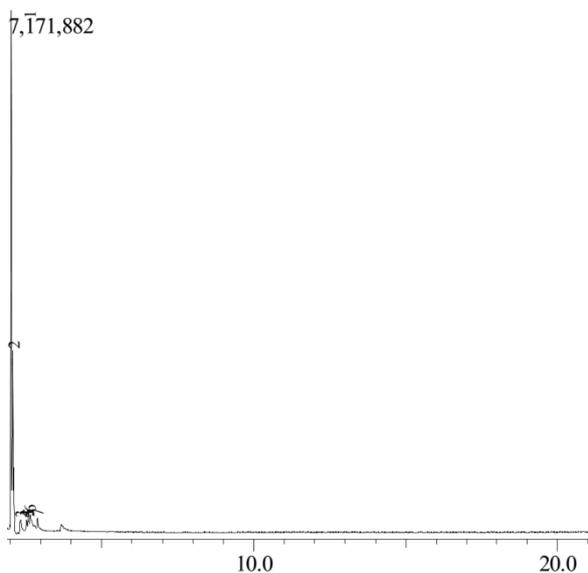
Gambar 4. Gas Chromatogram temperatur maksimum operasi 300°C.



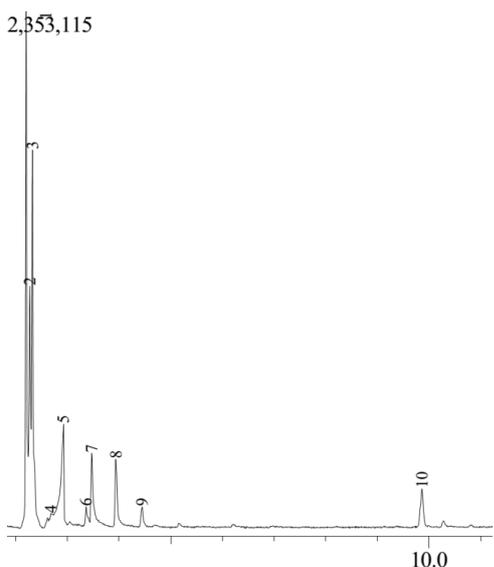
Gambar 5. Gas Chromatogram temperatur maksimum operasi 350°C.

Data komposisi senyawa yang terkandung dalam produk cair ditunjukkan pada tabel 2 sampai dengan 5. Dari tabel 2 sampai dengan 5 terlihat bahwa temperatur maksimum operasi yang dijaga tetap juga mempengaruhi komposisi produk yang dihasilkan. Dengan naiknya temperatur,

jenis senyawa yang dihasilkan juga bertambah dan dapat juga diamati pada temperatur maksimum operasi yang lebih tinggi jenis senyawa dengan berat molekul yang lebih tinggi bertambah yang menyebabkan naiknya berat molekul rata-rata cairan. Secara umum hasil yang diperoleh ini tidak jauh berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh Moinuddin Sarker, dkk. [4]. Pengamatan visual memperlihatkan adanya padatan kekuningan yang menempel pada saluran kondenser.



Gambar 6. Gas Chromatogram temperatur maksimum operasi 405°C.



Gambar 7. Gas Chromatogram temperatur maksimum operasi 420°C.

Tabel 2. Data Pengukuran GCMS pada Temperatur Maksimum Operasi 300°C

Peak	R. time (menit)	% Area	Nama Senyawa	Berat Molekul
1	2,035	58,96	<i>Ethanal</i>	44
2	2,086	24,11	<i>Dimethyl eter</i>	46
3	2,133	16,93	<i>Propanone</i>	58

Tabel 3. Data Pengukuran GCMS pada Temperatur Maksimum Operasi 350°C

Peak	R. time (menit)	% Area	Nama Senyawa	Berat Molekul
1	2,029	71,49	<i>Ethanal</i>	44
2	2,078	18,21	<i>Ethanol</i>	46
3	2,119	10,30	<i>Propanone</i>	58

Tabel 4. Data Pengukuran GCMS pada Temperatur Maksimum Operasi 405°C

Peak	R. time (menit)	% Area	Nama Senyawa	Berat Molekul
1	2,021	59,49	<i>Ethanal</i>	44
2	2,070	25,3	<i>Ethanol</i>	46
3	2,333	3,68	<i>2-butanone</i>	72
4	2,52	1,91	<i>2-methyl-1,3dioxolane</i>	88
5	2,588	2,11	<i>Benzene</i>	78
6	2,648	5,07	<i>2-butenal</i>	70
7	2,882	2,45	<i>1,4-dioxane</i>	88

Tabel 5. Data Pengukuran GCMS pada Temperatur Maksimum Operasi 420°C.

Peak	R. time (menit)	% Area	Nama Senyawa	Berat Molekul
1	2,202	27,54	<i>Ethanal</i>	44
2	2,273	15,23	<i>Ethanol</i>	46
3	2,322	24,02	<i>2-propanone</i>	58
4	2,675	3,19	<i>Formic acid</i>	46
5	2,922	10,61	<i>Acetic acid</i>	60
6	3,361	1,78	<i>3-hydroxybutanal</i>	88
7	3,469	6,10	<i>Ethylene glycol</i>	62
8	3,938	5,60	<i>Pentanediol</i>	104
9	4,443	1,54	<i>Paraldehide</i>	132
10	9,859	4,35	<i>2,4-pentanediol</i>	104

KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa untuk memaksimalkan produk cair yang dihasilkan dan memperkecil distribusi senyawa yang terkandung dalam produk cair, pirolisis akan menguntungkan dilakukan pada temperatur maksimum operasi 300°C sampai dengan 350°C. Temperatur maksimum operasi diatas 350°C selain menurunkan persentase hasil produk cair yang dihasilkan juga akan meningkatkan distribusi senyawa yang ada didalamnya sehingga akan sulit dilakukan proses pemurnian.

REFERENSI

- [1] A. Brems, J. Baeyens, C. Vandecasteele and R. Dewil, "Polymeric Cracking of Waste Polyethylene Terephthalate to Chemicals and Energy," *Journal of the Air & Waste Management Association*, vol. 61, pp. 721-731, 2011.
- [2] KNLH, Statistik Persampahan Indonesia Tahun 2008, Jakarta, 2008.
- [3] L. Bartolome, M. Imran, B. G. Cho, W. A. Al-Masry and D. H. Kim, "Recent Developments in the Chemical Recycling of PET," in *Material Recycling - Trends and Perspectives*, Rijeka, InTech, 2012, pp. 65-84.
- [4] M. Sarker, A. Kabir, M. M. Rashid, M. Molla and A. S. M. D. Mohammad, "Waste Polyethylene Terephthalate (PETE-1) Conversion into Liquid Fuel," *Journal of Fundamentals of Renewable Energy and Applications*, vol. 1, pp. 1-5, 2011.
- [5] M. Sarker and M. M. Rashid, "Polyethylene Terephthalate (Pete) And High Density Polyethylene (Hdpe) Mixture To Fuel Production," *American Journal of Engineering Research*, vol. 2, no. 10, pp. 1-10, 2013.
- [6] P. T. Williams, "Waste," in *Waste Treatment and Disposal*, West Sussex, John Wiley & Sons Ltd., 2005, pp. 63-126.
- [7] P. Basu, Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefactin: Practical Design and Theory, 2nd ed., San Diego: Academic Press, 2013.
- [8] V. Sinha, M. R. Patel and J. V. Patel, "Pet Waste Management by Chemical Recycling: A Review," *Journal of Polymers and the Environment*, vol. 18, no. 1, pp. 8-25, 2010.
- [9] T. A. Mandeel, A.-Q. D. Faisal and I. J. Ibraheem, "Degradation of Plastic Wastes (PP, PET, and LDPE) for Liquid Fuel Production as alternative energy by Using Vacuum Pyrolysis Method," *Journal of University of Anbar for Pure Science*, vol. 7, no. 2, 2013.
- [10] T. Yoshioka, G. Grause, C. Eger, W. Kaminsky and A. Okuwaki, "Pyrolysis of poly(ethylene terephthalate) in a fluidised bed plant," *Polymer Degradation and Stability*, vol. 86, no. 3, pp. 499-504, 2004.