



**PENGARUH RASIO BERAT KATALIS TERHADAP BERAT PLASTIK BEKAS
PET PADA PROSES PIROLISIS BERKATALIS DAN KARAKTERISTIK
PRODUK CAIR YANG DIHASILKAN**

Damayanti¹⁾, Muhammad Hanif¹⁾ dan Wike Wingtias Arnesa¹⁾

¹⁾Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung
Jl. Prof. Dr. Soemantri Brodjonegoro No. 1 Bandar Lampung 35145
Surel: muhammad.hanif@eng.unila.ac.id

ABSTRACT

Plastic is a material that can't be separated from human life, therefore the consumption of plastic in Indonesia has increased and people doesn't concern with harmful effect of waste *polyethylene terephthalate* plastic. Pacific institute showed that 1 ton *polyethylene terephthalate* produces approximately 3 tons of CO₂. Pyrolysis process is one method used to degrade the waste of polyethylene terephthalate. The main objective of this research is to find out the effect of ratio sample/catalyst to the reaction time, yield, and composition of liquid product. The liquid product with ratio sample/catalyst 1:3 was 68 ml with the density 1,0096 gr/ml and rendement of liquid product up to 86%. It match with fogler's statement in catalytic reaction, the increase ammount of the catalyst will expand the contact space between fluid and solid catalyst, which will help the reaction rate significantly.

Keyword: pyrolysis, polyethylene terephthalate, rendement, density.

ABSTRAK

Plastik merupakan bahan yang tidak pernah lepas dari kehidupan manusia oleh karena itu, terjadi peningkatan terhadap konsumsi plastik di Indonesia. Akan tetapi kesadaran masyarakat akan bahaya yang ditimbulkan dari sampah plastik jenis *polyethylene terephthalate* masih sangat rendah. Lembaga *Pacific Institute* menunjukkan bahwa 1 ton dari sampah *polyethylene terephthalate* memproduksi sekitar 3 ton CO₂. Proses pirolisis merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mendegradasi limbah *polyethylene terephthalate*. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh berat rasio sample/katalis terhadap waktu reaksi, rendimento dan untuk mengetahui komposisi fraksi cair hasil proses *pyrolysis*. Pada rasio berat sample/katalis 1:3 diperoleh produk cair sebesar 68 ml, dengan densitas sebesar 1,0096 gr/ml, dan rendimento yang dihasilkan dari produk cair mencapai 86%. Hal tersebut sesuai pernyataan *fogler* bahwa pada reaksi katalisis, semakin bertambah jumlah katalis maka akan bertambah pula luas kontak antara fluida dan katalis padat, yang dapat membantu laju reaksi secara signifikan.

Kata kunci: *pyrolysis*, *polyethylene terephthalate*, *rendemen*, *densitas*.



PENDAHULUAN

Popularitas polyethylene terephthalate (PET) meningkat secara pesat sejak penemuannya pada awal tahun 1940. Pada tahun 2000, kapasitas produksi global PET melebihi 33 juta metrik ton per tahun (Rieckmann, 2003). Konsumsi global terhadap jenis plastik ini telah meningkat dari 11,8 juta metrik ton pada 1997 (Paszun & Spsychaj, 1997) menjadi 23,6 juta metrik ton pada 2005 (Karayannidis & Achilias, 2007), dan 54 juta pada 2010 (IHS, 2011). Peningkatan konsumsi global yang secara linier diasumsi sebesar 3,08 juta metrik ton pertahun dikarenakan keunggulan sifat-sifat fisik yang dimilikinya. PET adalah jenis plastik yang memiliki kekuatan regang yang sangat baik, tahan terhadap bahan kimia, bening, mudah diproses, dan stabil pada pemanasan (Caldicott, 1999).

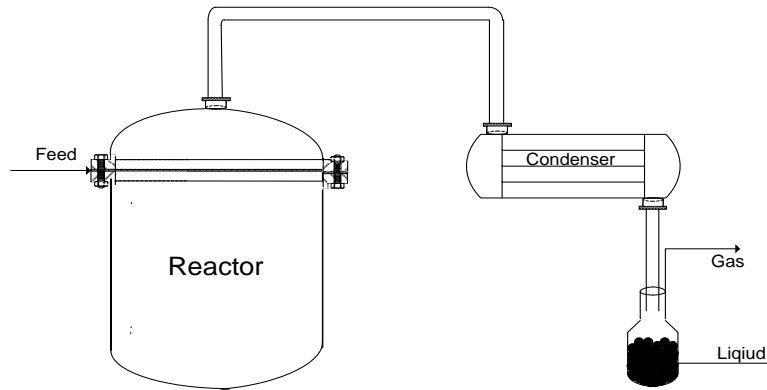
Serupa dengan jenis plastik lainnya, peningkatan konsumsi PET dan ketidakmampuannya diuraikan oleh mikroorganisme yang memiliki masalah serius pada penanganan limbahnya. Statistik menunjukkan total akumulasi sampah di Indonesia diestimasi sebesar 38,5 juta ton/tahun dengan sampah plastik menyumbang sekitar 14% dari totalnya (KNLH, 2008). Saat ini ada tiga upaya untuk menangani akumulasi limbah plastik, meliputi landfill, insenerasi, dan daur ulang (Toraman *et al.*, 2014). Penanganan sampah secara pembakaran (insenerasi) bukan merupakan solusi yang aman karena berpotensi meningkatkan emisi gas berbahaya seperti NO_x , SO_x , CO_x , dan lain-lain (Toraman *et al.*, 2014). Daur ulang limbah plastik untuk mendapatkan beberapa produk kimia berharga telah dikembangkan beberapa tahun ini. Solvolisis adalah salah satu proses daur ulang plastik dengan menggunakan pelarut seperti air (hidrolisis) (Yoshioka *et al.*, 2003), glikol (glikolisis) (Xi Guox *et al.*, 2004), dan methanol (metanolisis) (Siddiqui *et al.*, 2012).

Pirolisis adalah metode daur ulang selain solvolisis dengan memanfaatkan panas untuk degradasi makromolekul menjadi struktur yang lebih sederhana. Produk pirolisis dapat dibagi menjadi faksi gas, cair, dan residu padat (Toraman *et al.*, 2014). Beberapa penelitian mengenai pirolisis PET telah dikembangkan pada 510 sampai 730^oC dengan proses fluidisasi menggunakan kuarsa (Yoshioka *et al.*, 2004), depolimerisasi katalitik pada 220 – 330^oC dalam air panas terkompresi dengan katalis seng asetat (Liu *et al.*, 2012), pirolisis dengan menggunakan oksida logam pada 700^oC (Yoshioka *et al.*, 2005), pirolisis PET dengan katalis Ca(OH)₂ pada 400 – 530^oC (Sarker *et al.*, 2011), dan lain-lain.

Pada penelitian ini dilakukan proses pirolisis limbah PET dengan menggunakan katalis Ca(OH)₂ dengan memvariasikan rasio berat katalis terhadap berat limbah plastik PET. Penelitian ini ditujukan untuk mendapatkan produk cair dan mengetahui komposisi produk yang dihasilkan untuk rasio katalis dan bahan baku yang berbeda pada suhu konstan.

BAHAN DAN METODE

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah *polyethylene terephthalate* (PET) yang diperoleh dari botol bekas kemasan air mineral dan minuman ringan, Ca(OH)₂ yang digunakan sebagai katalis diperoleh dari PT. Brataco Chemical Indonesia. Reaktor yang digunakan adalah reaktor *batch* berbahan dasar *carbon steel*, dengan diameter 0,279 ft, tinggi 0,509 ft. Produk cair diperoleh dengan mengembunkan uap proses yang kemudian ditampung dalam *accumulator*. Skema alat penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian Alat Pirolisis

Prosedur Penelitian

Limbah plastik yang telah dibersihkan dan dikeringkan, dicacah dengan ukuran 2 cm x 2 cm dan ditimbang 80 gram. $\text{Ca}(\text{OH})_2$ disiapkan dengan berat masing-masing 80, 160, dan 240 gram. Untuk proses pertama (run-1), 80 gram PET dimasukkan ke dalam reaktor tanpa $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Suplai pemanas pada reaktor dengan laju pemanasan tinggi dan dijaga konstan pada 405°C . Catat perubahan yang terjadi selama proses pirolisis berlangsung. Untuk proses kedua (run-2) masukan 80 gram PET dan 80 gram $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (rasio berat 1 : 1) ke dalam reaktor dan atur pengisian menyerupai sandwich. Prosedur pengoperasian reaktor dan pencatatan waktu serupa dengan run-1. Lakukan prosedur yang sama untuk rasio berat katalis terhadap bahan baku 1 : 2 dan 1 : 3. Waktu reaksi diasumsi dengan mencatat waktu terbentuknya embun pertama di akumulator hingga tetesan berhenti.

Analisis Komposisi Produk Cair

Pada penelitian ini untuk mengidentifikasi komponen pada masing-masing perlakuan digunakan *gas chromatography* jenis GC MS – QP2010S SHIMADZU dengan kolom *AGLIENT HP 5MS* dengan temperatur 60°C (selama 5 menit) – 280°C (selama 21 menit). Helium digunakan sebagai gas pembawa (*carrier gas*) dengan laju alir total 40

cm³/min, dengan temperatur tempat injeksi (*injection port*) adalah 310 °C dan *injection mode* yang digunakan adalah *split*. Untuk mengontrol laju alir digunakan tekanan, dengan tekanan 12,0 kPa. Kecepatan linear yang digunakan adalah 26,0 cm/detik dan kecepatan *purge* adalah 3,0 ml/menit.

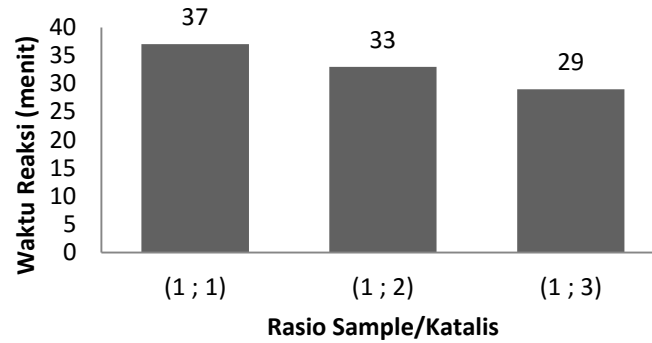
Pada tempat injeksi (*injection port*) digunakan *split ratio* (1:71,6) dengan *ion source* temperatur adalah 250 °C dan temperatur pada permukaan adalah 305 °C, selain itu untuk *solvent cut time* dilakukan selama 1,60 menit dengan *mass spectrometry* dimulai pada 1,80 menit dan berakhir pada menit ke 70,00 untuk kecepatan pengamatan sebesar 1250.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini uap yang dihasilkan dari proses pirolisis selanjutnya melewati proses kondensasi. Produk hasil dari proses kondensasi ini berupa fasa gas dan cair. Cairan (*liquid*) yang dihasilkan selanjutnya ditampung di dalam *accumulator*. Produk cair yang ditampung di dalam *accumulator* berwarna bening kekuningan dan bau yang khas. Produk yang dihasilkan pada proses pirolisis berupa cair, padat dan gas, akan tetapi pada penelitian ini yang diamati hanyalah karakteristik produk cair.

Variasi rasio berat katalis terhadap bahan baku dengan waktu reaksi yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 2. Gambar 2 hanya ditampilkan waktu reaksi untuk rasio berat bahan baku terhadap katalis 1 :1, 1:2, dan 1:3. Untuk proses tanpa katalis tidak ditampilkan dalam gambar karena tidak diperoleh produk cair pada proses pirolisis. Untuk proses tanpa katalis teramati terbentuk uap kekuningan yang terkondensasi menjadi bentuk padat dan menggumpal pada dinding kondensor. Dari gambar dapat juga diamati bahwa waktu reaksi menjadi lebih singkat seiring dengan bertambahnya rasio

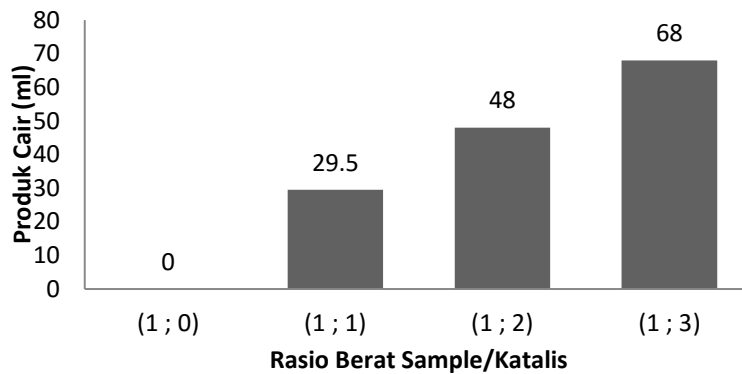
berat katalis terhadap bahan baku. Waktu tercepat pada proses pirolisis ini adalah 29 menit rasio berat bahan baku terhadap $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 1 : 3.



Gambar 2. Grafik Rasio Berat Sample/Katalis Terhadap Waktu Reaksi

Semakin cepatnya reaksi dengan bertambahnya berat katalis dikarenakan kemampuan katalis dalam menurunkan energi aktivasi. Penurunan energi aktivasi reaksi disebabkan oleh terjadinya pembentukan alur atau mekanisme yang berbeda (yakni antara reaksi tanpa katalis dan reaksi dengan katalis) (Fogler, 1999).

Pada Gambar 3 menunjukkan bahwa pada rasio berat sample/katalis adalah 1:0 tidak terdapat produk cair yang dihasilkan, hal ini dikarenakan pada kondisi operasi 405°C tidak melibatkan katalis kalsium hidroksida pada proses pirolisis, sedangkan dengan rasio berat sample/katalis adalah 1:1 diperoleh produk cair yang dihasilkan sebanyak 29,5 ml. Pada rasio berat katalis sebesar 1:2 dan 1:3 diperoleh produk cair yang dihasilkan sebesar 48 dan 68 ml.



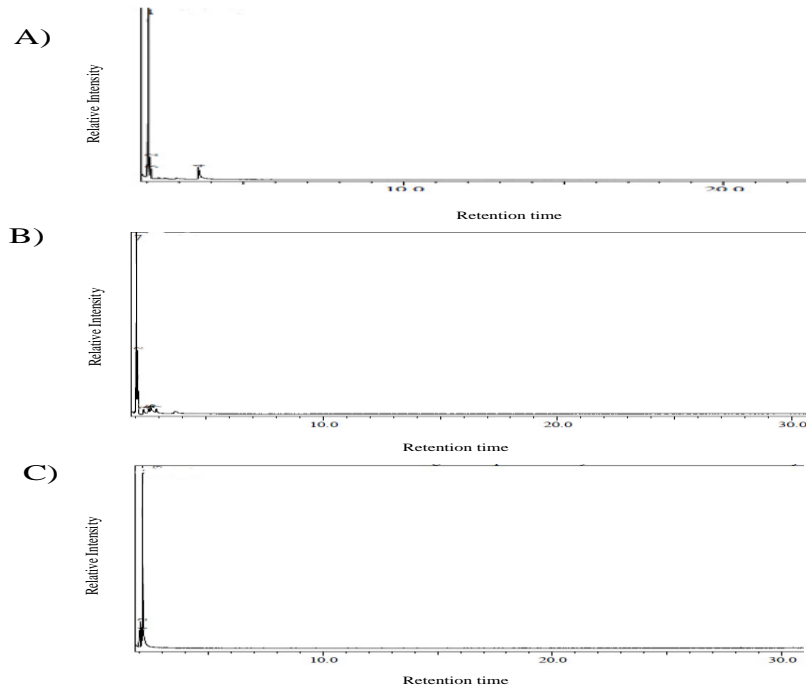
Gambar 3. Rasio Berat Sample/Katalis Terhadap Produk Cair

Berdasarkan Gambar 3 dapat dilihat bahwa semakin banyak jumlah rasio berat sample/katalis maka produk cair yang dihasilkan semakin bertambah. Hal ini dikarenakan apabila katalis yang masuk ke dalam reaktor semakin bertambah maka akan bertambah pula luas kontak antara *polyethylene terephthalate* dan katalis (*calcium hydroxide*) sehingga produk cair yang dihasilkan akan semakin bertambah.

Pada penelitian ini dengan rasio berat sample/ katalis adalah 1:0 didapatkan rendemen sebesar 0% dikarenakan tidak terdapat produk cair yang dihasilkan, sedangkan pada rasio berat sample/katalis adalah 1:1 didapatkan rendemen sebesar 37% dan pada rasio berat sample/katalis masing – masing sebesar 1:2 dan 1:3 didapatkan rendemen sebesar 61% dan 86%.

Semakin besar rasio berat sample/katalis yang digunakan maka rendemen yang diperoleh semakin besar. Hal ini disebabkan makin besar rasio berat katalis yang digunakan maka semakin banyak katalis yang berkontak dan berdifusi dengan *polyethylene terephthalate* sehingga semakin banyak produk cair yang dihasilkan dan rendemen yang diperoleh akan semakin besar.

Produk cair yang dihasilkan pada proses pirolisis selanjutnya dilakukan analisis dengan menggunakan *gas chromatography/mass spectrometry* (GC/MS) yang dapat dilihat pada Gambar 4 berikut ini :



Gambar 4. Hasil Analisis GC /MS Produk Cair A) 1: 1 B) 1:2 C) 1:3.

Pada Gambar 4 menunjukkan hasil analisis GC/MS pada masing – masing run. Pada Gambar 4 (A) produk utama pada puncak pertama adalah *acetaldehyde* sebesar 76,73% sedangkan pada puncak kedua adalah *dimethyl ether* sebesar 7,69%. Sedangkan pada Gambar 4 (B) menunjukkan bahwa produk utamanya pada puncak pertama adalah *acetaldehyde* sebesar 59,49% kemudian *ethanol* sebesar 25,30% kemudian, pada Gambar 4 (C) produk yang lebih dominan adalah *acetone* sebesar 85,21% dan *acetaldehyde* sebesar 8,40%. Berikut ini merupakan data hasil analisis GC – MS pada masing – masing komponen:

Tabel 1. Data Hasil Analisis GC/MC Produk Cair Hasil *Catalytic Cracking*

No	Komponen	Jumlah % wt			
		1:0	1:1	1:2	1:3
1	<i>Acetaldehyde</i>	-	76,73	59,49	8,40
2	<i>Dimethyl Ether</i>	-	7,69	-	-
3	<i>Acetone</i>	-	3,68	-	85,21
4	<i>Paraldehyde</i>	-	11,90	-	-
5	<i>Ethanol</i>	-	-	25,30	-
6	<i>2-Butanone</i>	-	-	3,68	-
7	<i>1,3-Dioxolane, 2-methyl-</i>	-	-	1,91	-
8	<i>Benzene</i>	-	-	2,11	-
9	<i>1-Propen-1-one, 2-methyl-</i>	-	-	5,07	-
10	<i>1,4-Dioxane</i>	-	-	2,45	-
11	<i>Beta-Ionone Epoxide</i>	-	-	-	6,39

Dari Tabel 1 menunjukkan bahwa run 1, 2 dan 3 terdapat kandungan *acetaldehyde* pada masing – masing run, akan tetapi belum diketahui secara pasti mengapa kandungan *acetaldehyde* berkurang dengan seiring bertambahnya katalis.

KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa : Semakin besar rasio berat sample/katalis maka semakin cepat waktu reaksi. Hal ini ditunjukkan pada rasio berat sample/katalis sebesar 1:3 didapatkan waktu reaksi sebesar 29 menit. Pada rasio sample/katalis 1:0 tidak didapatkan produk cair yang dihasilkan hal ini dikarenakan tanpa katalis suhu 405°C. Rendemen produk cair tertinggi diperoleh dengan rasio sample/katalis 1:3 sebesar 86% dengan densitas sebesar 1,0096 gr/ml. Penambahan kalsium hidroksida sebagai katalis, maka berpengaruh pada produk cair yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA



- Caldicott R. 1999. The basics of stretch blow molding PET containers. *Plast. Eng.* 55(1): 35–40.
- Fogler SH. 1999. *Elements of Chemical Reaction Engineering*. Prentice Hall International Inc.
- IHS (January 2011). WP Report: PolyethyleneTerephthalate (PET), Melt Pahe, In : World Petrochemicals Report, August 2011, Available from: <http://www.sriconsulting.com/WP/Public/Reports/pet/>
- Karayannidis G & Archilias D. 2007. Chemical Recycling of Poly(ethylene terephthalate).
- [KNLH] Kementerian Negara Lingkungan Hidup Republik Indonesia. 2008. Statistik Persampahan Indonesia 2008.
- Liu Y, Wang M, & Pan Z. 2012. Catalytic depolymerization of polyethylene terephthalate in hot compressed water. *J. of Supercritical Fluids*. 62 (2012): 226–231.
- Paszun D & Szychaj T. 1997. Chemical recycling of poly(ethylene terephthalate). *Ind. Eng. Chem. Res.* 36(4).
- Rieckman T. 2003. *Poly(ethylene terephthalate) Polymerization – Mechanism, Catalysis, Kinetics, Mass Transfer and Reactor Design*, dalam : Modern Polyesters : Chemistry and Technology.
- Sarker M, Kabir A, Rashi MM, Molla M, & Din MASM. 2011. Waste polyethylene terephthalate (PETE-1) conversion into liquid fuel. *J. of Fundamentals of Renewable Energy and Applications* 1(2011).
- Pacific Institute, Bottle water and energy, available online at http://www.pacinst.org/topics/water_and_sustainability/bottled_water/bottled_water_and_energy.html [12 April 2014].
- Siddiqui MN, Redhwi HH, & Achilias DS. 2012. Recycling of poly(ethylene terephthalate) waste through methanolic pyrolysis in a microwave reactor. *J. of Analytical and Applied Pyrolysis* 98(2012): 214–220.
- Toraman HE, Djikmans T, Djokic MR, Van Geem KM, & Marin GB. 2014. Detailed compositional characterization of plastic waste pyrolysis oil by comprehensive two-dimensional gas-chromatography coupled to multiple detectors. *J. of Chromatography A* 1359(2014): 237–246.
- Xi Goux, Lu Maixi, & Sun Chen. 2004. Study on depolymerization of waste polyethylene terephthalate into monomer of bis(2-hydroxyethyl terephthalate). *Polymer* .



- Yoshioka T, Ota M, & Okuwaki A. 2003. Conversion of a used poly(ethylene terephthalate) bottle into oxalic acid and terephthalic acid by oxygen oxidation in alkaline solutions at elevated temperatures. *Ind. Eng. Chem. Res.* 42(4): 675–679.
- Yoshioka T, Grause G, Eger C, Kaminsky W, & Okuwaki A. 2004. Pyrolysis of poly(ethylene terephthalate) in a fluidised bed plant. *Polymer Degradation and Stability.* 86(2004): 499–504.
- Yoshioka T, Handa T, Grause G, Lei Z, Inomata H, & Mizoguchi T. 2005. Effects of metal oxides on the pyrolysis of poly(ethylene terephthalate). *J. Anal. Appl. Pyrolysis.* 73 (2005): 139–144.