

PENGOLAHAN SAMPAH BOTOL PLASTIK MENJADI MONOMER BHET SEBAGAI BAHAN BAKU PLASTIK DENGAN PROSES SOLVOLYSIS

YC Danarto^{*)}, Muh. Kurniawan A.M.^{**)}, Yanuar Raka Siwi^{**)}

^{*)} Staf Pengajar Jurusan Teknik Kimia FT UNS

^{**)} Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia FT UNS

Jl. Ir. Sutami No.36 A Surakarta, Telp/Fax (0271)632112

Email : yc.danarto@gmail.com

Abstract

The use of plastic bottles made from PET (polyethylene terephthalate) in all countries of the world is very high. Along with this, there was a problem related to the plastic bottle waste. Waste plastic bottle can contaminate the environment because it takes a long time to biodegrade naturally. Processing and utilization of waste plastic bottles can solve the above problem. Plastic bottle processing techniques largely consist of two stages, namely conventional plastic processing (mechanical) and advanced plastic processing (chemistry). Advanced processing consists of several methods: hydrogenation, gasification, catalytic cracking, solvolysis and thermal treatment. Solvolysis is depolymerization process (breaking the chains of the polymer so that the polymer is initially split back into monomers) using certain solvents. The advantage of solvolysis process is pure monomer recovery. In this experiment, ethylene glycol was used as a solvent (glycolysis) due to its availability and economical reason. The desired reaction was a cracking PET bottles into monomer BHET (Bis-hydroxyethyl terephthalate). Glycolysis was carried out in a stirred reactor equipped with condenser at temperature 180 °C. PET plastic bottle 50 gram was mixed with solvent in reactor with catalyst 0.1% wt NaOH. The experiment was run with reaction time variation (1, 1.5, 2, 2.5, and 3 hours) and ratio (gram : ml) waste PET bottle : solvent variation (1:1, 1:1.5, 1:2, 1:2.5, and 1:3). The monomer product was analyzed by FT-IR analysis and determined weight ratio product upon waste PET bottle. The results showed that the monomer product was BHET and the optimum product was achieved at reaction time 3 hours and ratio waste PET bottle upon solvent 1:3 (gram:ml)

keywords : BHET, ethylene glycol, glycolysis, PET bottles, solvolysis

Pendahuluan

Plastik merupakan material yang baru yang secara luas dikembangkan dan digunakan sejak abad ke-20 yang berkembang secara luar biasa penggunaannya dari hanya beberapa ratus ton pada tahun 1930-an, menjadi 150 juta ton/tahun pada tahun 1990-an dan 220 juta ton/tahun pada tahun 2005. Plastik banyak aplikasikan dalam varian bentuk yang berbeda-beda. Salah satu yang paling sering di gunakan adalah bentuk botol, yang sering kita sebut sebagai botol plastik. Industri makanan telah hampir sepenuhnya menggantikan kaca dalam banyak kasus dengan botol plastik, namun anggur dan bir masih sering dijual dalam botol kaca.

Penggunaan botol plastik memberikan pengaruh yang luar biasa di dunia industri, maka sejak tahun 1998 itu dikeluarkan kode dari The Society of Plastic Industry di Amerika Serikat dan yang menjadi acuan oleh lembaga - lembaga pengembangan sistem kode seperti ISO (International Organization for Standardization). Secara umum kode yang dikeluarkan harus berada atau terletak di bagian bawah, bentuk segitiga, di dalam segitiga terdapat angka dan terdapat nama jenis plastik di bawah segitiga. (www.engineeringtown.com)

Botol plastik yang paling banyak digunakan di seluruh negara adalah botol plastik polyethylene terephthalate (PET) karena memiliki sifat mekanik dan termal yang sangat baik (Kim et.al., 2007). PET merupakan resin polimer termoplastis dari kelompok poliester. PET banyak diproduksi dalam industri kimia dan digunakan dalam serat sintesis, botol minuman dan wadah makanan, aplikasi *thermoforming*, dan dikombinasikan dengan serat kaca dalam resin teknik. Penggunaan PET dalam aplikasi kemasan terutama di industri air minum botol sangat besar karena keunggulannya yaitu lembut, dapat terurai, ringan, dan permeabilitas gas selektif yang baik (Pimpan, 2003)

Kemampuan PET yang dapat terurai dalam waktu yang tidak singkat dibandingkan bahan lain menyebabkan peningkatan produksi yang tidak kecil. Hal ini menyebabkan pembuangan sejumlah besar botol PET menimbulkan

masalah lingkungan yang serius. Oleh karena itu, proses pengolahan dan daur ulang botol PET terus dikembangkan. (Nikles and Farahat, 2005)

Proses pengolahan plastik dapat dilakukan dengan dua macam cara yaitu pengolahan konvensional dan pengolahan tingkat lanjut. Pengolahan konvensional masih banyak dilakukan oleh masyarakat untuk mendaur ulang plastik dengan cara dipotong-potong atau dicacah-cacah. Metode tersebut tergolong kurang baik karena adanya kontaminan yang terkandung di dalam botol plastik, di samping itu waktu dan energi yang dibutuhkan cukup besar.

Pengolahan plastik tingkat lanjut terdiri atas beberapa metode seperti hidrogenasi, gasifikasi, *catalytic cracking*, dan solvolysis. Solvolysis adalah proses depolimerisasi (proses pemecahan polimer menjadi monomernya) dengan menggunakan pelarut tertentu. Pada solvolysis, monomer yang diperoleh mempunyai sifat struktur yang berasal dari polimernya. Salah satu pelarut yang sering dipakai adalah etilen glikol, proses ini dinamakan glikolisis. Pengolahan botol PET bekas melalui proses glikolisis sangat menarik karena monomer yang diperoleh merupakan monomer murni (BHET) dan etilen glikol yang digunakan dapat diperoleh kembali (solvent recovery).

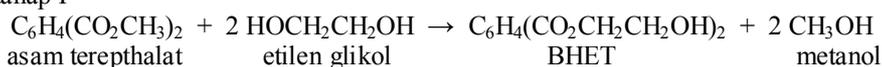
Tujuan penelitian ini mempelajari pengaruh waktu reaksi glikolisis dan ratio botol PET : pelarut etilen glikol terhadap monomer produk yang dihasilkan.

Tinjauan Pustaka

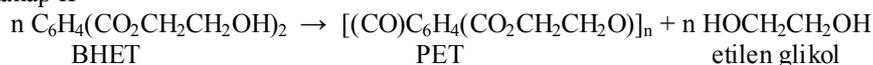
Polyethylene terephthalate (PET)

PET merupakan polimer kondensasi yang terbentuk dari senyawa di-acid dan di-alcohol. Ada 2 tahap proses pembuatan PET. Tahap pertama meliputi reaksi esterifikasi terephthalate acid dengan ethane diol menghasilkan monomer bis-hidroxy-ethylterephthalate (BHET). Tahap kedua merupakan reaksi kondensasi BHET menghasilkan PET dan ethane diol.

Reaksi tahap I



Reaksi tahap II



PET terutama digunakan sebagai bahan baku botol minuman, pembungkus makanan, lapisan film, bahan pencampur polimer lain. Botol PET mengandung senyawa-senyawa kontaminan seperti polyvinyl chloride (PVC), polyvinyl dichloride (PVDC), ethylene vinyl acetate (EVA), adhesive, kertas, dan lain-lain

Pengolahan sampah botol PET

Pengolahan sampah botol PET terdiri atas dua bagian, pengolahan konvensional dan pengolahan tingkat lanjut. Pengolahan konvensional (daur ulang mekanik) meliputi beberapa tahapan proses seperti pemisahan plastik berdasarkan jenisnya, penghilangan kotoran, proses pengecilan ukuran, dan proses dektrusi oleh panas untuk diolah menjadi plastik baru.

Daur ulang mekanik plastik dibatasi oleh kompatibilitas antara berbagai jenis polimer. Kehadiran polimer terdispersi dalam matriks polimer lain dapat mengubah sifat dan menghalangi kemungkinan untuk menggunakannya dalam aplikasi konvensional. Contoh dari hal ini adalah dampak dari polyvinyl chloride (PVC) selama proses daur ulang polyethylene terephthalate (PET). Jika terdapat PVC dalam PET, maka dapat mengurangi nilai komersial akhir meskipun konsentrasi PVC hanya sedikit. Kelemahan lain dari daur ulang mekanik adalah kadang terdapat limbah yang terbuat dari resin yang sama tapi mempunyai warna yang berbeda sehingga dapat memberikan warna abu-abu yang tidak diinginkan ke plastik daur ulang. (Aguado and Serrano, 1999)

Pengolahan tingkat lanjut (daur ulang kimia) terdiri atas beberapa proses:

a. Hidrogenasi

Hidrogenasi plastik merupakan metode alternatif yang potensial untuk memutus rantai polimer. Hidrogenasi mengarah pada pembentukan produk yang sangat jenuh, menghindari adanya olefin dalam fraksi cair. Hidrogenasi dapat menghapus atom hetero dalam produk, seperti klorin (Cl), nitrogen (N) dan sulfur (S), dalam bentuk senyawa volatil. Hidrogenasi mempunyai beberapa kelemahan, yang paling utama karena biaya hidrogen yang mahal dan beroperasi di bawah tekanan tinggi. Katalis yang dipakai dalam hidrogenasi meliputi logam transisi, seperti paladium (Pt), nikel (Ni), molibdenum (Mo) dan besi (Fe) didukung padatan asam, seperti alumina, zeolit atau amorf silika alumina.

b. Gasifikasi

Gasifikasi dapat dianggap sebagai proses oksidasi parsial dari bahan karbon yang mengarah terutama untuk campuran karbon monoksida (CO) dan hidrogen (H₂). Hal ini juga disebut gas sintesis atau syngas karena penerapannya dalam berbagai sintesis kimia. Gasifikasi awalnya telah dikembangkan untuk konversi batubara, tetapi telah lebih diterapkan juga untuk pengolahan fraksi minyak berat dan gas alam.

Gasifikasi adalah metode yang efisien untuk limbah polimer karena beberapa keunggulan yang tidak perlu untuk memisahkan jenis polimer yang berbeda, dan mungkin untuk mencampur limbah plastik dengan sampah lainnya, non-plastik padat sebelum gasifikasi. Namun, profitabilitas proses gasifikasi sangat tergantung pada nilai dan aplikasi dari syngas. Syngas dapat digunakan untuk sintesis berbagai bahan kimia, seperti metanol, amonia atau asam asetat, tetapi juga dapat dibakar dalam pembakar. Namun, pembakaran gas sintesis tidak dapat benar-benar dianggap sebagai proses daur ulang plastik, melainkan dianggap sebagai sarana pemulihan energi.

c. Catalytic cracking

Catalytic cracking plastik didasarkan pada kontak dari polimer dengan katalis. Bahkan, degradasi plastik berlangsung dalam banyak kasus oleh kombinasi efek katalitik dan termal, yang tidak dapat dipisahkan. Selain catalytic cracking, penggunaan katalis ini biasa juga digunakan untuk proses yang disebutkan sebelumnya, seperti gasifikasi dan oksidasi parsial dari plastik. Namun, tidak ada bahan kimia yang dimasukkan untuk bereaksi langsung dengan polimer selama proses catalytic cracking dan produk yang berasal dari dekomposisi polimer biasanya tidak monomer awal.

Ada banyak keuntungan dalam metode catalytic cracking, sebagai contoh, molekul polimer sudah dapat rusak pada suhu yang lebih rendah. Dalam konsekuensi dari suhu yang lebih rendah, kebutuhan energi juga lebih rendah. Selanjutnya, jika harga dari reaksi antara catalytic cracking dan termal dibandingkan, proses katalitik lebih cepat daripada proses termal karena energi aktivasi yang lebih rendah. Menggunakan katalis juga meningkatkan kualitas dan selektivitas produk karena distribusi produk dapat bervariasi dan dikendalikan oleh katalis yang dipilih.

d. Depolimerisasi kimia

Depolimerisasi kimia adalah metode yang paling sesuai untuk proses daur ulang bahan baku plastik, meskipun terbatas pada daur ulang polimer terkondensasi dan tidak ada aplikasi penguraian polimer lainnya. Total volume polimer terkondensasi menyumbang kurang dari 15% dari semua limbah plastik. Sebagai contoh polimer terkondensasi adalah poliester, poliamida dan poliasetal. Polimer kondensasi diperoleh dengan reaksi acak dari dua molekul, yang berlangsung dengan pembebasan molekul kecil. Dalam depolimerisasi kimia, terjadi reaksi yang berkebalikan dalam pembentukan polimer. Dalam depolimerisasi terjadi reaksi pemutusan ikatan pada polimer menjadi monomer – monomernya maupun oligomernya menggunakan pelarut tertentu, karena itu metode depolimerisasi kimia sering disebut solvolisis.

Solvolysis

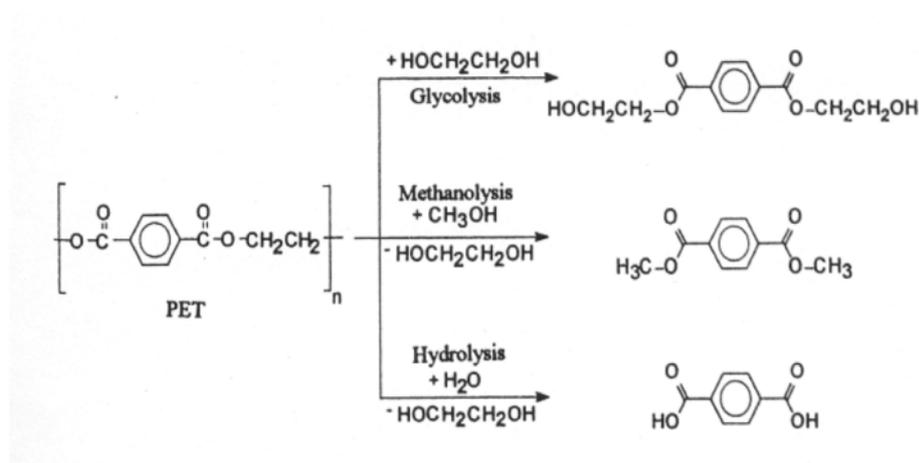
Solvolysis adalah proses depolimerisasi (pemecahan kembali polymer menjadi monomernya) dengan menggunakan pelarut tertentu (Aguado and Serrano, 1999). Pada proses solvolysis monomer yang dihasilkan mempunyai sifat yang sama dengan polymernya. Keuntungan solvolysis adalah sebagai berikut :

- Transfer massa disertai transfer panas yang baik.
- Panas yang dibutuhkan cenderung lebih sedikit dibandingkan metode lainnya.
- Terdegradasi dengan sendirinya saat proses pelarutan.
- Pelarut yang digunakan berfungsi juga sebagai reaktan.

Istilah umum untuk proses di mana pelarut juga bertindak sebagai reaktan adalah solvolysis. Berdasarkan pelarut yang digunakan dalam proses, metode solvolysis terbagi atas beberapa metode yaitu methanolisis, glikolisis dan hidrolisis.

- **Metanolisis**
Metanolisis merupakan salah satu metode yang digunakan dalam proses depolimerisasi secara kimia. Methanolisis sendiri merupakan proses pemecahan polimer menjadi monomer-monomer yang menggunakan pelarut berupa methanol.
- **Glikolisis**
Glikolisis merupakan metode yang paling sering digunakan dalam proses pemecahan polimer-polimer menjadi monomer-monomernya. Pada proses ini pelarut yang digunakan adalah etilen glikol.
- **Hidrolisis**
Proses hidrolisis merupakan metode depolimerisasi polimer menjadi monomer-monomer yang jarang digunakan. Walaupun murah karena hanya menggunakan pelarut yang berupa air namun metode ini membutuhkan waktu yang lama dalam sekali proses untuk menghasilkan monome-monomer.

(Grause et.al., 2011)



Gambar 1. Reaksi depolimerisasi pet dengan berbagai pelarut yang berbeda

(Janssen and van Santen, 1999)

Glikolisis

Glikolisis merupakan proses depolimerisasi menggunakan pelarut etilen glikol atau dietilen glikol. Gersifi et.al. (2006) meneliti glikolisis resin epoksi menggunakan pelarut dietilen glikol dengan bantuan katalis titanium(IV) *n*-butoxide. Proses glikolisis tersebut menghasilkan produk berupa senyawa esterdiol, tetra alkohol dan glikol sisa. Reaksi glikolisis dijalankan pada labu leher tiga pada suasana inert atmosferis dan suhu 245 °C dengan perbandingan sampel : glikol : katalis = 100 : 500 : 0,5. Reaktor labu leher tiga dilengkapi rangkaian distilasi untuk memperoleh kembali solven sisa.

Iwaya et.al. (2008) melakukan solvolisis plastik yang diperkuat serat menggunakan pelarut dietilen glikol monometil eter dan benzyl alcohol. Reaksi dijalankan secara batch pada suhu 463 – 623 K selama 1 – 8 jam. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa pemakaian katalis K_3PO_4 akan meningkatkan proses depolimerisasi poliester yang terdapat pada plastik tersebut.

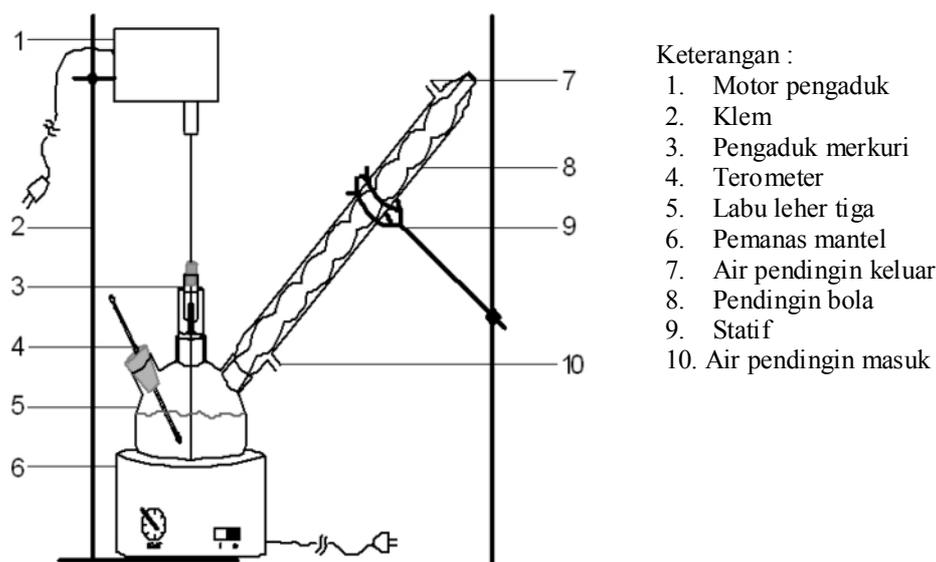
Nikje, et.al. (2007) melakukan glikolis poliuretan menggunakan gliserin sebagai solven dengan katalis KOH dan NaOH. Reaksi glikolisis dijalankan dengan bantuan gelombang mikro. Glikolisis tersebut menghasilkan senyawa polioli dengan waktu reaksi yang lebih singkat dibandingkan dengan cara konvensional (tanpa bantuan gelombang mikro).

Depolimerisasi juga dapat dilakukan dengan proses simultan. Guclu (2009) melakukan proses glikolisis dan hidrolisis secara simultan terhadap limbah PET. Reaksi simultan dijalankan selama 1 jam pada suhu 170 °C dengan perbandingan molar air :PET : DEG = 10 : 1 : 1 dengan bantuan katalis zinc acetate. Hasil proses depolimerisasi tersebut berupa senyawa oligomer.

Kim, et.al. (2007) membuat resin poliester tak jenuh dari senyawa hasil glikolisis limbah PET. Glikolisis limbah PET menggunakan pelarut dietilen glikol dengan perbandingan PET:glikol = 250:200 dan bantuan katalis zinc acetate. Reaksi dijalankan pada labu leher tiga dilengkapi pendingin pada suhu 210 °C selama 5 jam. Produk depolimerisasi limbah PET kemudian direaksikan dengan asam pthalat anhidrat untuk menghasilkan resin poliester.

Bahan dan Metode Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah botol PET bekas, NaOH sebagai katalis, etilen glikol sebagai pelarut, dan aquadest sebagai larutan pemisah etilen glikol dari produk monomer. Rangkaian alat pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 2. Rangkaian alat glikolisis botol PET

Persiapan bahan baku

Botol plastik PET dibersihkan dengan menggunakan air bersih, kemudian di dipotong kecil-kecil dengan menggunakan gunting atau pisau. Potongan kecil tersebut berukuran $\pm 3 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$.

Proses glikolisis

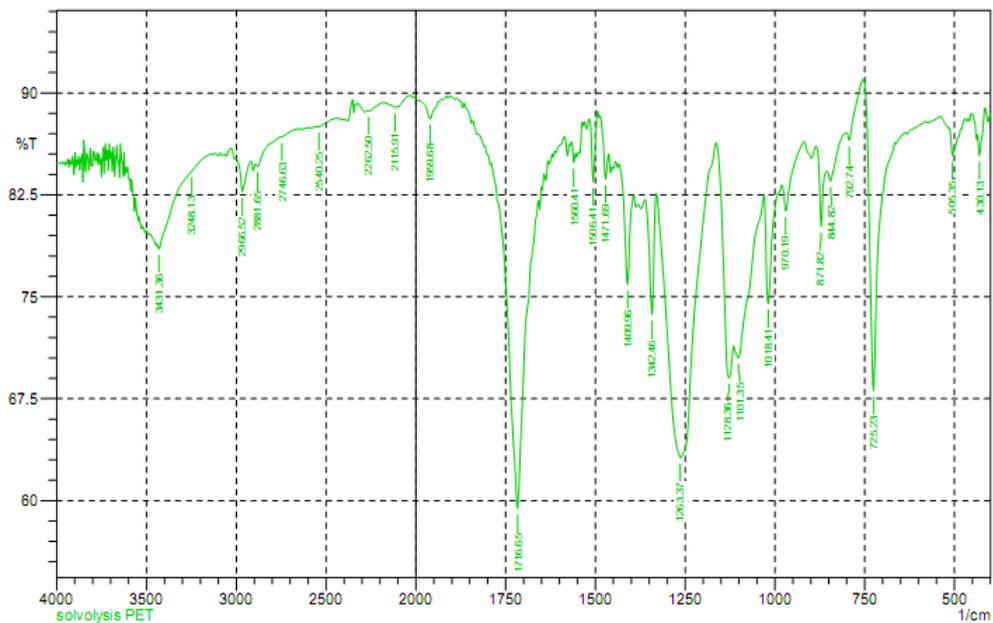
Botol PET sebanyak 50 gram lalu dimasukkan ke dalam labu leher tiga yang dilengkapi pengaduk dan pendingin. Pelarut etilen glikol dimasukkan ke dalam labu leher tiga pada berbagai variasi ratio botol PET:etilen glikol (gram:ml) yaitu 1:1; 1:1,5; 1:2; 1:2,5; dan 1:3. Reaksi dijalankan selama 1,5 jam pada suhu tetap $180 \text{ }^\circ\text{C}$ dengan bantuan katalis NaOH 0,1% berat PET. Pada percobaan kedua, reaksi dijalankan pada variasi waktu glikolisis (1; 1,5; 2; 2,5; dan 3 jam) pada suhu tetap $180 \text{ }^\circ\text{C}$ dengan bantuan katalis NaOH 0,1% berat PET dan ratio botol PET:etilen glikol 1:3 (gram:ml)

Proses pemisahan

Produk yang diperoleh dicampur dengan air dan diaduk selama 30 menit pada suhu $80 \text{ }^\circ\text{C}$. Campuran tersebut kemudian dipisahkan dengan menggunakan kertas saring. Padatan yang diperoleh kemudian dikeringkan pada oven.

Hasil dan Pembahasan

Hasil analisis produk monomer dengan FT-IR dapat dilihat pada gambar 2. Grafik pada gambar tersebut menunjukkan adanya gugus OH (panjang gelombang 3431,36), gugus C-H (panjang gelombang 2966,52), gugus C=O (panjang gelombang 1716,65) dan gugus C-O (panjang gelombang 1128,36). Menurut Arnaizs, et.al (2003), adanya gugus-gugus tersebut di atas menunjukkan bahwa senyawa tersebut merupakan monomer BHET.



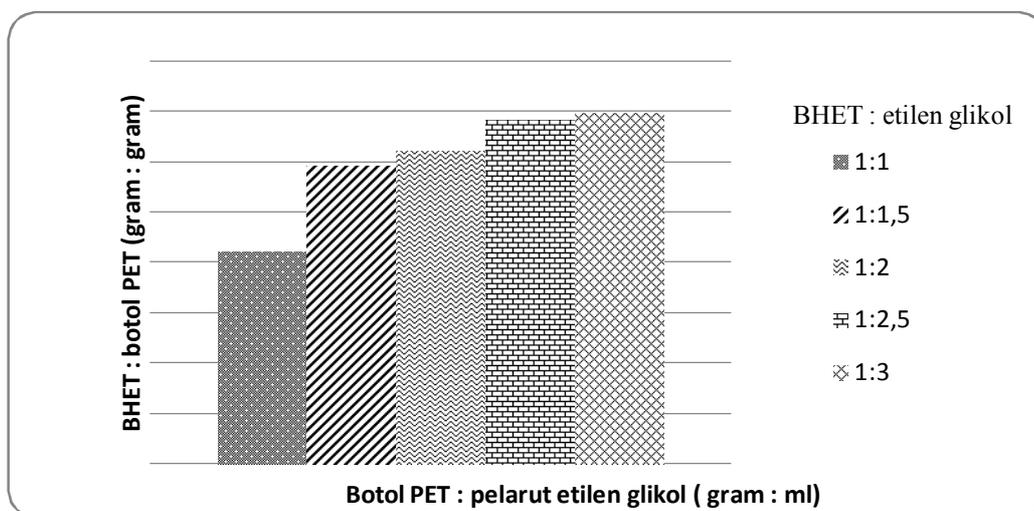
Gambar 3. Grafik hasil analisis produk monomer dengan FT-IR

Pengaruh ratio botol PET : etilen glikol

Hasil produk monomer BHET pada berbagai ratio botol PET : pelarut etilen glikol dapat dilihat pada tabel 1 dan gambar 3.

Tabel 1. Produk BHET pada berbagai ratio botol PET : etilen glikol (waktu glikolisis 1,5 jam, botol PET 50 gram)

No	Botol PET : etilen glikol (gram : ml)	Berat BHET (gram)	BHET : botol PET (gram:gram)
1	1:1	42,06	0,841:1
2	1:1,5	58,93	1,179:1
3	1:2	62,13	1,243:1
4	1:2,5	68,12	1,362:1
5	1:3	69,72	1,394:1



Gambar 4. Grafik produk BHET pada berbagai ratio botol PET : pelarut etilen glikol

Tabel 1 dan gambar 3 menunjukkan bahwa semakin banyak pelarut yang dipakai maka produk BHET yang diperoleh juga semakin banyak. Pelarut etilen glikol yang banyak akan menyebabkan botol PET mudah larut dan semakin banyak yang terdepolimerisasi menjadi BHET karena etilen glikol juga berfungsi sebagai reaktan. Perbedaan produk BHET pada berbagai ratio botol PET:etilen glikol juga menunjukkan bahwa tidak semua botol PET terdepolimerisasi menjadi monomer, ada sebagian yang berubah menjadi oligomer atau polimer sederhana.

Produk BHET paling banyak diperoleh pada kondisi ratio botol PET : etilen glikol 1 : 3 (gram : ml) yaitu sebesar 69,72 gram atau dengan ratio berat BHET:botol PET sebesar 1,394:1

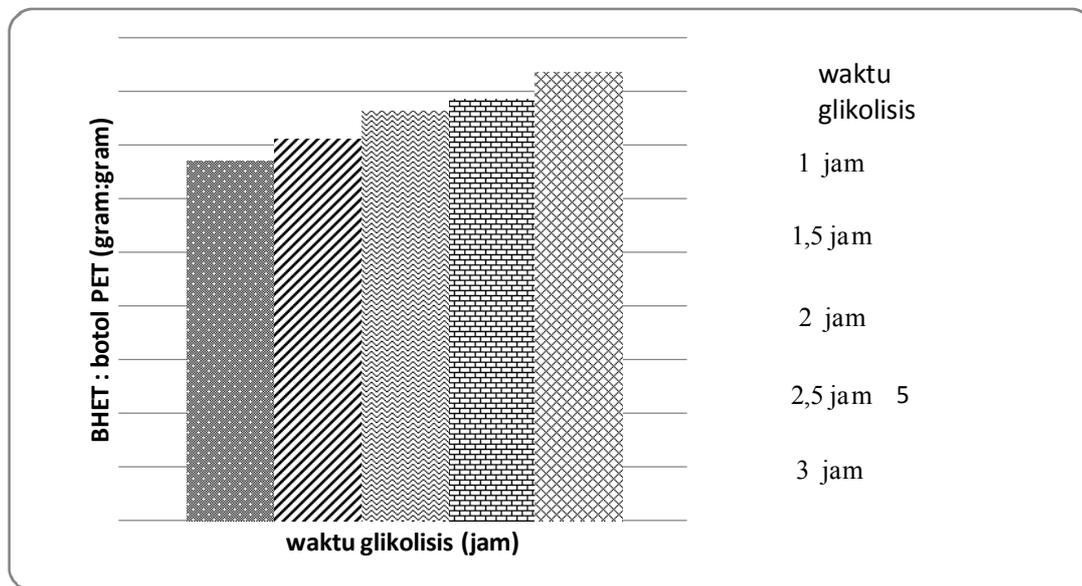
Pengaruh waktu proses glikolisis

Hasil produk monomer BHET pada berbagai lama waktu glikolisis dapat dilihat pada tabel 2 dan gambar 4. Semakin lama waktu reaksi glikolisis akan menyebabkan semakin banyak produk BHET yang diperoleh. Waktu reaksi yang lama akan menyebabkan semakin banyak botol PET yang mengalami depolimerisasi.

Produk BHET paling banyak diperoleh pada kondisi waktu glikolisis 3 jam yaitu sebesar 83,68 gram atau dengan ratio berat BHET:botol PET sebesar 1,674

Tabel 1. Produk BHET pada berbagai waktu proses glikolisis (ratio botol PET: etilen glikol 1:3 (gram:ml); botol PET 50 gram)

No	Waktu glikolisis (jam)	Berat BHET (gram)	BHET : botol PET (gram:gram)
1	1	67,33	1,346:1
2	1,5	71,34	1,427:1
3	2	76,51	1,530:1
4	2,5	78,77	1,575:1
5	3	83,68	1,674:1



Gambar 5. Grafik produk BHET pada berbagai waktu proses glikolisis

Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat diambil kesimpulan bahwa produk yang diperoleh dari reaksi glikolisis botol PET adalah monomer BHET. Semakin banyak pelarut etilen glikol yang digunakan maka semakin banyak produk BHET yang diperoleh. Produk BHET juga semakin banyak jika waktu proses glikolisis semakin lama. Hasil maksimum pada penelitian ini diperoleh pada kondisi ratio botol PET : pelarut etilen glikol 1 : 3 (gram:ml) dan lama waktu proses glikolisis 3 jam.

Daftar Pustaka

- Aguado, J. and Serrano, D.,(1999),“*Feedstock Recycling of Plastic Wastes*”, Royal Society of Chemistry, Clean Technology Monographs. Cambridge, UK.
- Arnaiz, S., Asueta, A., Arieta-araunabena, A., Manjon, D., Lopez-Fonseca, R., Gutierrez-Ortiz, J.I., Duque, I., (2009),” *Solvolysis of on-line Identified and Refused Highly Coloured and Complex PET Post-consumer Waste Bottles and Packages*”, GAIKER-IK4 Technological Centre, E-48170 Zamudio, Spain.
- Gersifi, K.E., Durand, G., Tersac, G., (2006),”Solvolysis of Bisphenol A Diglycidyl Ether/anhydride Model Networks”, *Polymer Degradation and Stability*, Vol 91, p.p 690-720.
- Grause, G., Buekens, A., Sakata, Y., Okuwaki, A., Yoshioka, T., (2011),” Feedstock Recycling of Waste Polymeric Material”, *J Mater Cycles Waste Manag*, Vol 13, pp. 265–282.
- Guclu, G., (2010), “Alkyd Resins Based on Waste PET for Water-reducible Coating Applications”, *Polymer Bulletin*, Vol 64, pp. 739-748.
- Iwaya, T., Tokuno, S., Sasaki, M., Goto, M., Shibata, K., (2008), ” Recycling of Fiber Reinforced Plastics Using Depolymerization by Solvothermal Reaction with Catalyst”, *J Mater Sci*, Vol 43, pp. 2452-2456.
- Janssen, F.J.J.G. and van Santen, R.A., (1999),” *Environmental Catalysis*”, Imperial College Press, Netherlands Institute for Catalysis Research, London, UK.
- Kim, J., Jeong, D., Son, D., Lee, Y., Kim, E., Moon, I.,(2007),“Synthesis and Applications of Unsaturated Polyester Resins Based on PET Waste” , *Korean J. Chem. Eng*, Vol. 24 (6), pp. 1076-1083.
- Nikje, M. M. A., Haghshenas, M., Garmarudi, A.B., (2007), “Microwave Assisted "Split-phase" Glycolysis of Polyurethane Flexible Foam Wastes”, *Polymer Bulletin*, Vol 59, pp. 91-104.
- Nikles, D.E. and Farahat, M.S.,(2005),”New Motivation for The Depolymerization Products Derived from Polyethylene Terephthalate (PET) waste”, *Macromol Mater Eng* Vol 290 pp. 13–30.
- Pimpan, V., Sirisook, R., Chuayjuljit, S., (2003), “ Synthesis of Unsaturated polyester resin from postconsumer PET bottles : Effect of Type of Glycol on Characteristics of Unsaturated Polyester Resin”, *J Appl Polym Sci* Vol 88, pp. 788–792.

www.engineeringtown.com/kids/indeks.php/energi-dan-material/159-plastik