

PENGARUH SUHU TERHADAP DEPOLIMERISASI POLIETILEN TEREFTALAT DENGAN PELARUT ASAM NITRAT

Nama Mahasiswa : Reza Bakhtiar
NRP : 1409100009
Jurusan : Kimia FMIPA-ITS
Pembimbing : Lukman Atmaja, Ph.D

Abstrak

Monomer asam tereftalat berhasil diperoleh dari daur ulang (depolimerisasi) limbah plastik polietilen tereftalat (PET). Depolimerisasi PET menjadi asam tereftalat menggunakan metode hidrolisis dilakukan pada rentang suhu 60°C sampai 100°C (dengan interval 10°C) menggunakan pelarut sekaligus katalisator asam nitrat (HNO₃) 13,5 M. Hasil rendemen terbanyak adalah sebesar 75,7% (pada suhu 100°C). Monomer PET yang diduga asam tereftalat (TPA) kemudian dianalisa menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR), *Thermogravimetric Analyzis* (TGA), dan *Differential Scanning Calorimetry* (DSC).

Kata Kunci: Asam tereftalat (TPA), Depolimerisasi, Hidrolisis, Polietilen tereftalat (PET).

THE TEMPERATURE'S EFFECT TO THE DEPOLIMERIZATION OF POLY ETYLEN TEREPHTHALIC (PET) USING NITRIC ACID AS SOLVENT

Student's Name : Reza Bakhtiar
NRP : 1409100009
Department : Chemistry
Supervisor : Lukman Atmaja, Ph.D

Abstract

Terephthalic acid (TPA) successfully produced from depolymerization of Poly Etylen Terephthalic (PET) using hydrolysis process. The process used the nitric acid 13,5 M as a solvent and catalysator at various temperatures 60 until 100°C with interval 10°C. The maximum yield obtain was 75,7 % at 100°C. The product predicted as a TPA was analyzed with *Fourier Transform Infrared (FTIR)*, *Thermogravimetric Analyzis (TGA)*, dan *Differential Scanning Calorimetry (DSC)*.

Key word: Depolymerization, Hydrolysis, Poly Etylen Tereftalat (PET), Terephthalic acid (TPA)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Plastik

Plastik merupakan salah satu material polimer yang banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Hal ini disebabkan karena plastik memiliki sifat yang unik, diantaranya adalah ringan, kuat, mudah dibentuk, anti karat, memiliki ketahanan terhadap bahan kimia dan memiliki sifat isolasi listrik yang baik (Mujiarto, 2005). Pada abad ini kebutuhan akan plastik semakin meningkat dari tahun ke tahun dan mulai menggantikan peran dari material berbahan dasar gelas, logam dan kayu (Mahmudah, 2012).

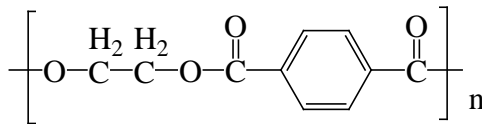
Plastik berasal dari campuran polimer yang tersusun dari satu atau lebih monomer dengan penambahan aditif. Aplikasi plastik lebih banyak terdapat pada kemasan – kemasan yang sangat luas penggunaannya, namun plastik sulit terdegradasi dikarenakan plastik memiliki tekstur yang kuat dan tersusun dari molekul rantai panjang sehingga sulit terdekomposisi oleh mikroorganisme tanah (Muccio, 1997).

Plastik menurut sifat termalnya terbagi menjadi dua jenis yaitu termoplastik dan termoset. Dari golongan termoplastik ada 4 bahan komoditas yang terkenal yaitu polietilena (PE), polietilena tereftalat (PET), polipropilena (PP) dan polivinil klorida (PVC). Dari golongan termoset dikenal seperti melamin, resin fenolik dan epoksi (Hall, 1990).

2.2. Polietilen Tereftalat (PET)

Polietilen tereftalat (PET) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 merupakan polimer termoplastik semikristalin yang banyak digunakan dalam bidang industri fiber, film dan botol kemasan (Aguado dan David, 1999). PET mempunyai sifat tidak mudah pecah, lebih ringan dari botol kaca dan memiliki tingkat

kejernihan yang tinggi. Oleh karena itu PET dapat digunakan sebagai bahan utama pengganti botol kaca dalam berbagai macam botol kemasan (Bandi, S. dkk., 2005 dan Welle, F., 2011). PET juga mempunyai keunggulan lainnya yaitu memiliki resistensi yang tinggi terhadap mikroorganisme yang ada di lingkungan, karenanya PET dianggap bukan sebagai plastik *biodegradable* (Colomines dkk., 2005).



Gambar 2.1 Struktur PET

PET mempunyai berat jenis antara 0,92-0,96 dan titik leleh antara 255-265°C. Tingkat kristalisasi PET yang tertinggi terjadi pada suhu 170°C dan 190°C. Sifat-sifat fisik maupun kimia dari PET ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Sifat fisik dan kimia PET

Sifat	Nilai (Satuan)
Berat Molekul	192 g/mol
Densitas	1,41 g/cm
Temperatur transisi glass	69-115 °C
Titik Leleh	265°C
Kuat Tarik	1700 MPa
Kekakuan saat putus	50 MPa
Regangan	4%

(Awaja dan Pavel, 2005).

Bahan penyusun botol kemasan tidak 100% murni mengandung PET, namun ada beberapa bahan aditif yang

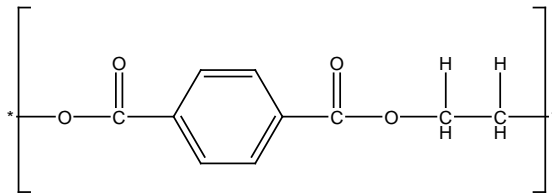
dicampurkan di dalamnya. Beberapa jenis zat aditif diantaranya adalah :

1. *Plasticizer* (pemlastis) yang digunakan untuk membantu proses membuat polimer menjadi lentur.
2. *Stabilizer* digunakan untuk mencegah terurainya polimer apabila terkena panas atau paparan sinar UV.
3. *Antioksidan* digunakan untuk mencegah proses oksidasi yang tidak diinginkan.
4. *Slip* dan *antistatic additive* yang berguna untuk mengurangi gesekan pada permukaan plastik dan menurunkan daya hantar listrik dari plastik.
5. *Coloring agent* digunakan sebagai pewarna untuk plastik.

PET juga merupakan salah satu jenis poliester semikristalin termoplastik yang biasanya digunakan dalam berbagai aplikasi industri seperti tekstil dan serat berkekuatan tinggi (Wang, 2009). Seiring berjalannya perkembangan teknologi, botol kemasan yang berbahan dasar PET menjadi pilihan utama para produsen air kemasan di dunia. Selain unggul ketahanan terhadap gas, juga ringan dan kuat (Rahayu, 2004). Secara garis besar PET dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu :

1. APET (*Amorphous Polyethylene Terephthalate*) adalah botol transparan yang sangat baik untuk menahan gas, dapat menahan tekanan dari dalam sehingga diaplikasikan menjadi kemasan botol parfum
2. CPET (*Crystallised Polyethylene Terephthalate*) mempunyai karakter yang sama dengan APET dalam hal permeabilitas gas, bedanya dengan APET hanya saja CPET tidak bersifat transparan.
3. PETG (*Polyethylene Glycol Terephthalate*) merupakan jenis PET amorphous, sehingga mempunyai karakteristik yang sama dengan APET dan *thermoforming* sehingga dapat diproduksi dalam bentuk film plastik (Rahayu, 2004).

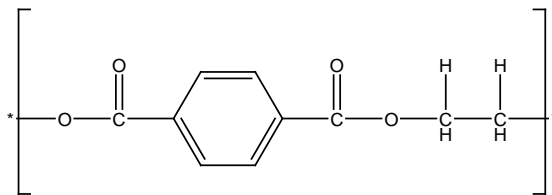
Unit perulangan PET merupakan jenis yang dihasilkan dari reaksi kondensasi antara etilen glikol dan asam tereftalat. Hasil reaksi tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.2 (Sinaga, 2008).



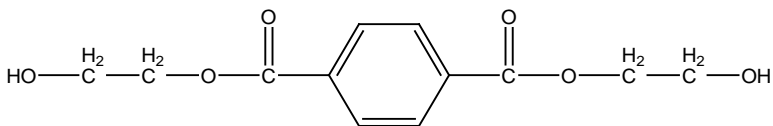
Gambar 2.2 Unit perulangan PET (Lechat, dkk., 2006).

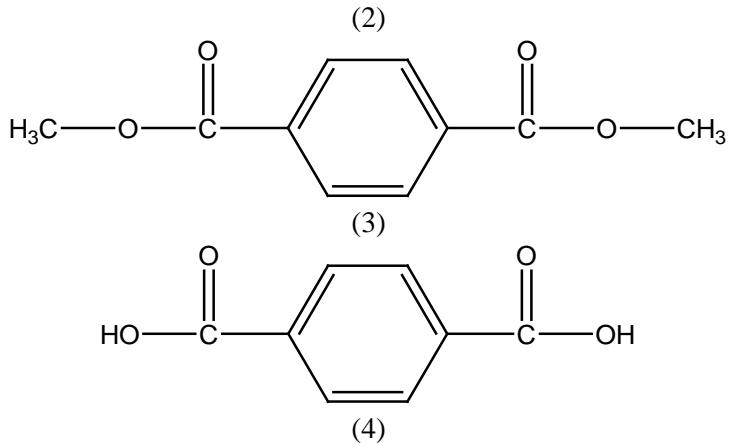
2.3 Depolimerisasi PET

PET merupakan material yang *nondegradable* pada kondisi normal, sehingga tidak terurai secara alami. Untuk mengurangi limbah PET maka solusi terbaik ialah dengan cara daur ulang. Secara garis besar daur ulang PET dibagi menjadi tiga yaitu secara mekanik, kimiawi dan biologi (Awaja dan Pavel, 2005). Gambar 2.3 menunjukkan perbedaan struktur PET dengan hasil depolimerisasinya.



(1)





Gambar 2.3. Perbandingan struktur (1) PET dengan hasil depolimerisasinya (2) BHET, (3) DMT, dan (4) TPA (Awaja dan Pavel, 2005)

Pada daur ulang secara mekanik, limbah PET dihancurkan menjadi potongan kecil saja, sehingga tidak terlalu signifikan dalam pengurangan limbah PET. Secara biologi juga tidak dapat dilakukan karena PET pada kondisi normal tidak dapat terurai secara alami oleh mikroorganismenya. Daur ulang secara kimiawi adalah metode yang tepat untuk mengurangi limbah PET.

Daur ulang secara kimiawi erat kaitannya dengan proses depolimerisasi atau pemutusan rantai polimer yang akan menghasilkan monomer-monomer pembentuknya (Suwardi dkk, 2005). Ada berbagai macam proses depolimerisasi menggunakan berbagai pelarut, diantaranya metanolisis, hidrolisis, glikolisis, dan aminolisis. Hal ini tergantung pada agen depolimerisasi yang dipakai dan kondisi reaksinya (Imran dkk, 2010)

Hidrolisis adalah suatu metode yang digunakan dalam proses depolimerisasi PET. Metode ini merupakan metode yang banyak dipakai dalam berbagai penelitian, karena prosesnya

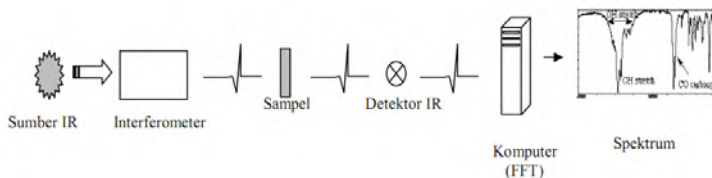
sederhana dan berlangsung pada suhu rendah dimana tidak membutuhkan energi yang besar, dengan begitu biaya produksi dapat ditekan. Disamping prosesnya sederhana, hidrolisis juga efisien. Disebut efisien karena mampu menghasilkan monomer yang nantinya digunakan kembali untuk pembentukan PET (Vellini, 2009).

Proses hidrolisis bergantung pada kondisi pelarut air, suhu, tekanan, dan katalis yang digunakan untuk mendapatkan monomer atau oligomer yang diinginkan. Dalam proses ini produk samping yang dihasilkan adalah etilen glikol. Hidrolisis PET dapat dilakukan dengan katalisis asam, logam alkali dan suasana netral (Pingale dan Shukla, 2008).

2.4 Uji dan Karakterisasi

2.4.1 Spektroskopi *Fourier Transform Infrared (FTIR)*

Sifat-sifat polimer banyak ditentukan oleh struktur gugus fungsi dari material penyusunnya. Analisis struktur polimer ini umumnya dilakukan menggunakan *Fourier Transform Infrared (FTIR)*. Dengan metode ini akan diperoleh informasi kimia berupa struktur dan konformasi polimer dan reaksi kimia (Kroschwitz, 1990). Alat ini mempunyai keunggulan dibanding spektroskopi inframerah, yaitu lebih cepat pengukurannya karena dapat dilakukan secara simultan. Jika pada spektroskopi inframerah radiasi secara fisik terbagi menjadi penyusun bilangan gelombang oleh monokromator yang kemudian melewati sampel dimana berbagai bilangan gelombang diolah secara berurutan, maka pada FTIR radiasi semua bilangan gelombang melewati sampel sampai ke detektor. Detektor mengukur intensitas total yang ditransmisikan sebagai fungsi dari perpindahan salah satu kaca di *interferometer double beam* dan pemisahan bilangan gelombang yang bermacam-macam selanjutnya dilakukan secara matematis dengan menggunakan *Fourier-transform* (Bower, 2002). Proses perubahan sinyal pada FTIR sampai menghasilkan grafik spektrum terlihat pada Gambar 2.4.

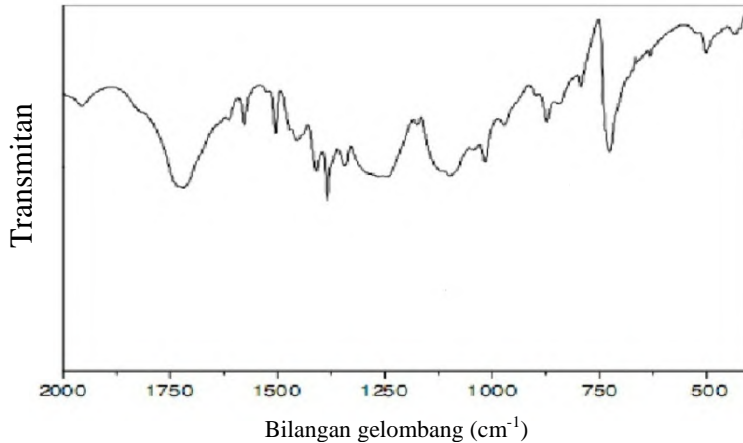


Gambar 2.4 Proses perubahan sinyal pada sistem peralatan spektroskopi FTIR

Analisis dengan menggunakan FTIR juga telah memberikan keunggulan dalam mengkarakterisasi senyawa organik dan formulasi material polimer. Analisis FTIR akan menentukan gugus fungsi dari molekul yang memberikan regangan pada daerah serapan inframerah. Tahap awal identifikasi bahan polimer adalah diketahui pita serapan yang khas untuk masing-masing polimer dengan membandingkan spektra yang telah diketahui. Pita serapan yang khas ditunjukkan oleh monomer penyusun material dan struktur molekulnya. Umumnya pita serapan polimer pada spektra infra merah adalah adanya ikatan C-H regangan pada daerah 2880 cm^{-1} sampai 2900 cm^{-1} dan regangan dari gugus lain yang mendukung suatu analisis material (Hummel, 1985).

Ukuran sampel umumnya adalah beberapa miligram, tetapi spektra dapat diperoleh dari 50 kilogram dengan teknik dan aksesoris spesifik. Keunggulan dari metode FTIR adalah radiasi sumber sinar lebih tinggi, perbandingan sinyal/noise ditingkatkan, mengurangi waktu pengukuran, dan akurasi pengukuran yang lebih tinggi dibandingkan dengan spektrometer dispersif cahaya konvensional. Spektrometer inframerah juga digunakan untuk mempelajari perubahan modifikasi, degradasi, dan oksida polimer. Identifikasi senyawa dapat dilakukan karena perbedaan struktur kimia material akan memberikan vibrasi karakteristik dan menghasilkan spektra IR yang unik yaitu daerah sidik jari untuk tiap tiap material (Sibilia, 1996).

Hasil analisa FTIR berupa spektra serapan sinar inframerah yang dapat ditampilkan dalam bentuk bilangan gelombang versus absorbansi atau versus transmittan. Contoh hasil analisis FTIR pada sampel PET ditampilkan pada Gambar 2.5



Gambar 2.5 Hasil FTIR PET murni (He dkk, 2006)

Pengukuran FTIR standar berlangsung pada range 7000-400 cm⁻¹, tetapi dapat pula mencapai 50 cm⁻¹ dengan menggunakan tambahan sumber sinar, optik dan detektor.

Pada Tabel 2.2 ditampilkan tabel panjang gelombang untuk masing-masing gugus fungsi yang terbaca pada FTIR

Tabel 2.2 Korelasi Inframerah

Jenis Ikatan	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	Keterangan
C-H	3000-2850	Alkana jenuh
=C-H	3100-3000	Alkana tak jenuh atau aromatik
O-H	3400-3000	Alkohol, air, fenol
O-H bebas	3600	
N-H	3450-3100	Amina
C=O	1940-1800 dan 1780-1740	Anhidrida
C=O	1750-1715	Ester
C=O	1740-1680	Aldehid
C=O	1725-1665	Asam Karboksilat
C=O	1690-1630	Amida
C=C	1675-1600	
C=N	1690-1630	
N=O	1650-1510 dan 1370-1330	Senyawa Nitro
C-C	Tak tetap	
C-O , C-N	1400-1000	
C rangkap tiga	2260-2120	
CN rangkap tiga	2260-2220	

(www.le.ac.uk/chemistry)

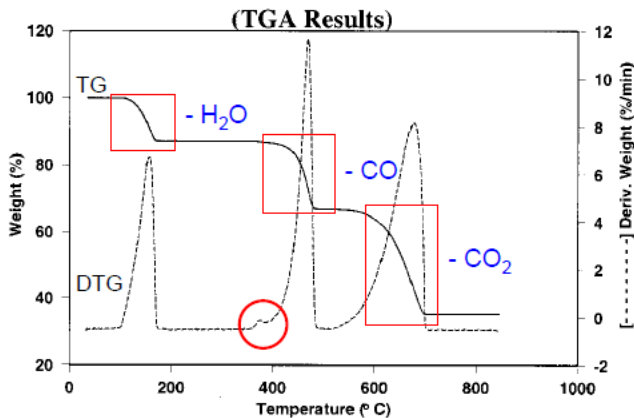
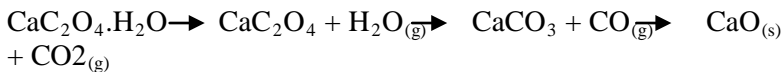
2.4.2 Analisis Termal

2.4.2.1 Thermal Gravimetric Analysis (TGA)

Metode ini merupakan sebuah metode yang luas digunakan dalam analisis kimia. Prinsip utamanya adalah mengukur pengurangan massa dari sebuah material yang dikenai panas sebagai fungsi suhu. Pada termogram TGA diperoleh plot jumlah massa pada sumbu y (ordinat) sedangkan pada sumbu x (absis) adalah suhu (°C) atau waktu (s). Sebagai contoh, sebuah

termogram TGA sederhana tentang reaksi dekomposisi kalsium oksalat monohidrat ($\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) ditampilkan pada Gambar 2.6.

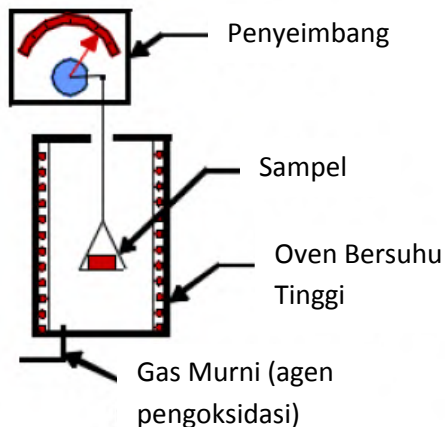
Analisa TGA ini akan sangat membantu untuk penelitian-penelitian yang membutuhkan informasi tentang transformasi (perubahan) fasa dari suatu material. Berdasarkan hasil termogram pada Gambar 2.6 dapat diprediksikan bahwa mekanisme reaksi dekomposisi termal dari senyawa $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ adalah sebagai berikut:



Gambar 2.6 Termogram untuk reaksi dekomposisi Kalsium Oksalat Monohidrat (Gunawan, 2013)

Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi hasil pengukuran TGA adalah laju pemanasan, jumlah/massa sample, ukuran partikel, jenis dan laju aliran atmosfer (gas).

Secara umum, instrumen TGA dapat digambarkan pada Gambar 2.7 berikut ini:

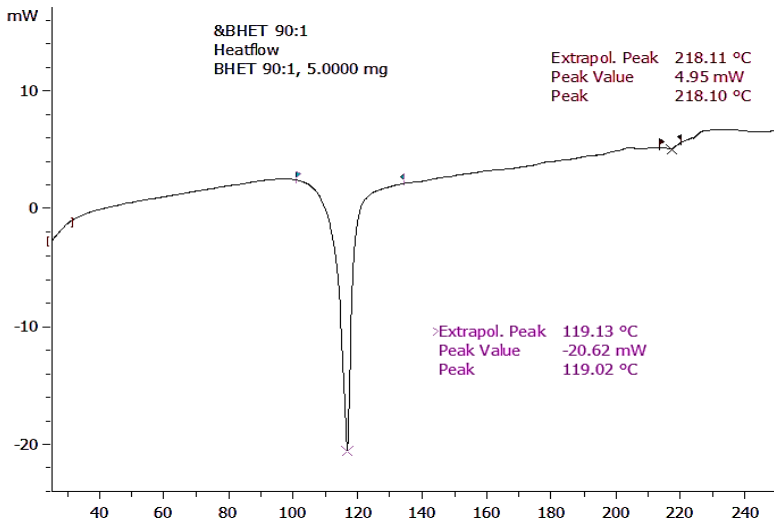


Gambar 2.7 Bagan Umum Instrument *Thermal Gravimetry Analysis* (TGA) (Gunawan, 2013)

2.4.2.2 *Differential Scanning Calorimetry* (DSC)

Differential Scanning Calorimetry (DSC) adalah suatu teknik analisis termal yang mengukur energi yang diserap atau diemisikan oleh sampel sebagai fungsi waktu atau suhu. Ketika transisi termal terjadi pada sampel, DSC memberikan pengukuran kalorimetri dari energi transisi dari temperatur tertentu. DSC merupakan teknik analisis yang digunakan untuk mengukur energi untuk membuat perbedaan temperatur antara cuplikan dengan pembanding menjadi nol, yang dianalisis pada daerah yang memiliki kondisi suhu yang sama, dalam lingkungan panas atau dingin dengan kecepatan teratur. Besar kecilnya panas yang dialirkan ke sampel tergantung pada proses yang sedang berlangsung, eksotermal atau endotermal (Dean, 1995). Analisis

termogravimetri menggunakan panas untuk mendorong reaksi dan perubahan fisik dalam bahan. Analisis ini menyediakan pengukuran kuantitatif dari setiap perubahan massa dalam polimer atau bahan yang terkait dengan transisi atau degradasi termal (Sandler dkk., 1998). Berikut merupakan contoh dari termogram DSC dari depolimerisasi PET (BHET).



Gambar 2.8 Termogram DSC dari depolimerisasi PET (BHET) (Amalia, 2013).

BAB III METODOLOGI

3.1 Alat dan Bahan

3.1.1 Alat

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah peralatan gelas, pengaduk magnetik, labu leher dua, kondensor, selang, termometer, pemanas, pengaduk, pipet ukur, pipet volum, pipet tetes, buret, corong kaca, kaca arloji, cawan agat, aluminium foil, plastik wrap, seal tape, oven, FT-IR (Shimadzu *Instrumen Spectrum One 8400S*), *Scanning Electron Microscopy* (SEM) tipe FEI INSPECT S50, TGA-DSC tipe Star^e system.

3.1.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah polietilen tereftalat (PET) yang berasal dari limbah botol air mineral dengan merek “Aquase”, asam nitrat SAP 65%, asam oksalat dihidrat, amonium hidroksida SAP 25%, natrium hidroksida, indikator fenolftalin, aquades.

3.2 Prosedur Kerja

3.2.1 Preparasi Polietilen Tereftalat (PET)

Botol plastik bekas dengan merek “aquase” di potong dengan ukuran 0,5 x 0,5 cm, kemudian dicuci dengan sabun pembersih, dan dibilas dengan aquades. Potongan botol plastik yang telah bersih dioven pada suhu 60°C selama 24 jam.

3.2.2 Proses Depolimerisasi PET

Sampel yang telah dipreparasi dimasukkan dalam labu leher dua yang telah berisi asam nitrat 13M. Campuran PET dan asam nitrat direfluks selama 5 jam dengan variasi suhu refluks seperti pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Variasi Suhu Refluks Depolimerisasi PET dengan Asam Nitrat 13M

Variasi	Suhu (°C)
1	60
2	70
3	80
4	90
5	100

Setelah refluks selesai, labu bundar didinginkan dalam penangas air. Semula campuran berupa dua fasa yaitu padatan PET dan larutan asam nitrat. Setelah reaksi, campuran berubah menjadi padatan serbuk putih dan larutan putih keruh. Campuran tersebut disaring dan dicuci dengan aquades. Selanjutnya campuran dicuci dengan amonium hidroksida 6 M sebanyak 15 ml. Filtrat yang diperoleh ditambahkan dengan asam nitrat beberapa tetes hingga terdapat endapan putih dan pH berubah dari 10 menjadi 2 atau 3. Campuran tersebut lalu disaring untuk memperoleh endapan. Endapan dipindah ke kaca arloji yang selanjutnya akan dikeringkan atau dioven selama 2 jam dengan suhu 105°C. Setelah dioven diperoleh serbuk putih yang kemudian ditimbang massanya untuk dibandingkan dengan berat PET awal.

3.3 Karakterisasi

3.3.1 *Fourier Transform Infrared (FTIR)*

Hasil akhir yang diperoleh berupa serbuk putih dicampur dengan serbuk KBr dengan cara digerus pada cawan agat dan dibentuk menjadi pelet. Selanjutnya pelet tersebut diidentifikasi gugus fungsinya menggunakan FTIR pada bilangan gelombang 500 cm⁻¹ hingga 4000 cm⁻¹.

3.3.2 Analisis Termal

Beberapa gram sampel diuji sifat termalnya dengan alat TGA-DSC tipe Star^e system pada rentang suhu dari 20-350°C dengan laju pemanasan 10°C/menit.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

HASIL dan PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang penyampaian hasil penelitian dan pembahasan dari hasil-hasil tersebut.

4.1 Preparasi Sampel PET

Sampel PET yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah botol bekas air minuman merk “aquase” seperti yang ditampilkan pada gambar 4.1(a). Botol bekas ini potong dengan dimensi sekitar 5mm x 5mm. Potongan tersebut dicuci dengan air detergen untuk menghilangkan semua kotoran yang menempel pada permukaan potongan plastik. Setelah dicuci sampel dipanaskan dalam oven dengan suhu 65°C selama 6 jam yang bertujuan untuk menguapkan air pada permukaan sampel. Sampel dikeluarkan dari oven dan siap digunakan dalam depolimerisasi. Pada gambar 4.1(b) ditampilkan gambar dari spesimen PET yang siap digunakan dalam penelitian ini.



(a)



(b)

Gambar 4.1(a) Botol bekas air mineral merk “Aquase”
Gambar 4.1(b) Spesimen PET yang siap digunakan

4.2 Pembuatan Larutan HNO₃ 13 M

Larutan HNO₃ 13 M disiapkan dengan mengencerkan larutan stok HNO₃ 65% dalam labu volumetrik 500 mL. Larutan HNO₃ yang sudah diencerkan kemudian distandarisasi untuk mengetahui konsentrasi yang sebenarnya.

Standarisasi HNO₃ menggunakan metode titrasi dengan larutan NaOH yang juga telah distandarisasi sebelumnya. NaOH merupakan larutan standar sekunder sehingga perlu distandarisasi lebih dahulu dengan standar primer yakni asam oksalat. Masing-masing titrasi dilakukan secara triplo dengan menggunakan indikator phenolphthalein (pp). Perhitungan dilampirkan pada Lampiran B

Pada proses standarisasi ini diketahui bahwa larutan HNO₃ yang dibuat memiliki konsentrasi aktual 13,5 M, sehingga dapat digunakan sebagai pelarut dalam depolimerasi PET di tahap selanjutnya.

4.3 Depolimerisasi PET

Pada penelitian ini PET didepolimerisasi menggunakan metode hidrolisis. Metode ini dipilih karena sederhana, murah, serta dapat dioperasikan pada suhu yang relatif rendah. Selain itu, metode hidrolisis dapat mendegradasi PET dan menghasilkan *terephthalate acid* (TPA) monomer dari PET yang dapat digunakan kembali pada proses industri plastik. Hidrolisis memiliki keunggulan dibandingkan glikolisis yang hanya mendegradasi PET menjadi BHET (bukan monomer dari PET) yang tidak dapat digunakan kembali dalam proses industri plastik. (Vellini dan Savioli, 2009).

Spesimen PET ditimbang sebanyak kurang lebih 2 gram, kemudian dimasukkan dalam labu leher dua dan ditambahkan larutan HNO₃ 13,5 M sebanyak 50 mL. Termometer air raksa berskala maksimum 150°C dan alat reflus dirangkai seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.2. Pada proses hidrolisis digunakan asam kuat karena pada proses

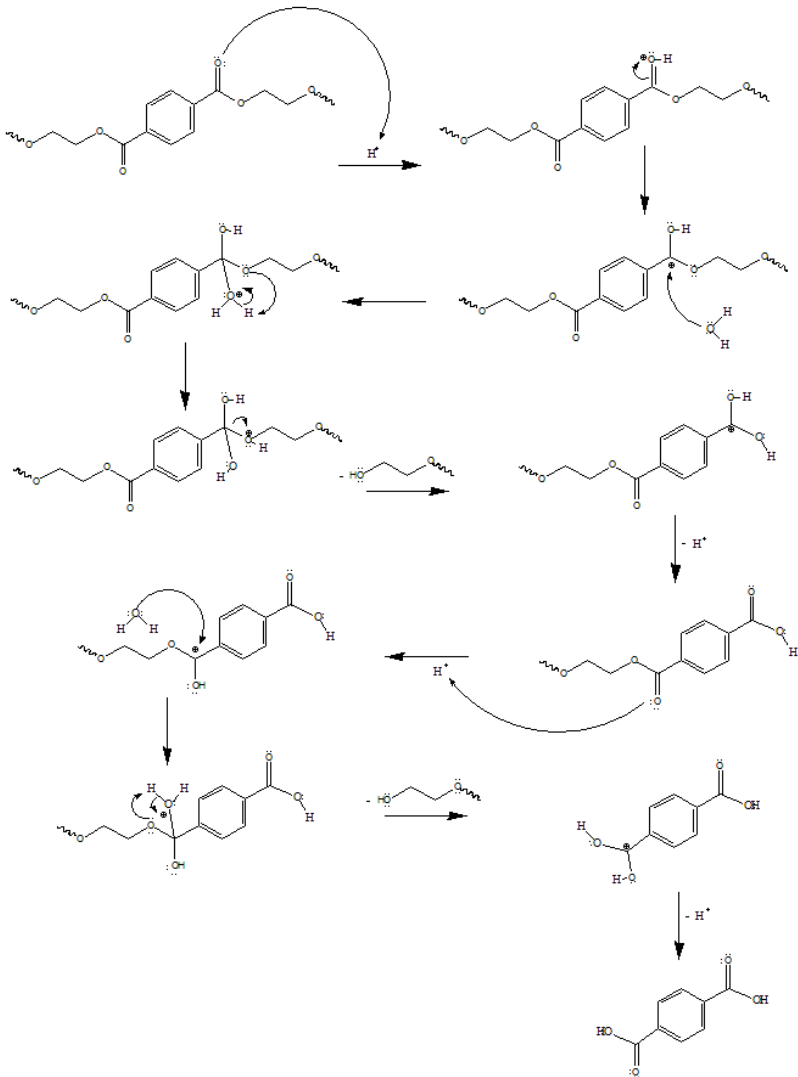
tersebut HNO_3 juga akan menyumbangkan ion H^+ untuk reaksi protonasi pemutusan rantai PET, sehingga semakin kuat asam yang digunakan maka semakin cepat protonasi pada pemutusan rantai PET. Refluks digunakan karena merupakan metode yang efisien karena pelarut yang menguap akan kembali terkondensasi dan bereaksi kembali, sehingga tidak membutuhkan pelarut dalam jumlah besar.

Pada penelitian ini digunakan pendingin berupa air es, sehingga uap pelarut dapat segera terkondensasikan kembali. Proses refluks dilakukan pada suhu $60\text{-}100^\circ\text{C}$ dengan interval 10°C selama 5 jam. Pada penelitian sebelumnya oleh Yoshioka (1998) proses hidrolisis dilakukan pada suhu dibawah 150°C . Penelitian ini menggunakan katalis HNO_3 yang memiliki titik didih 120°C sehingga suhu reaksi dilakukan dibawah 100°C . Penghitungan waktu dimulai saat suhu sistem mencapai suhu yang diinginkan. Temperatur refluks diamati dengan menggunakan termometer setiap rentang waktu 30 menit.



Gambar 4.2 Rangkaian alat refluks depolimerisasi PET

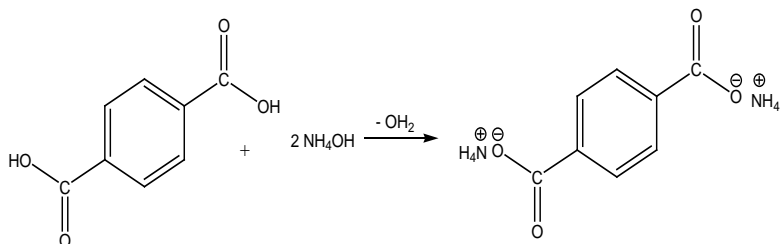
Setelah 5 jam proses refluks, labu leher 2 dilepas dari peralatan refluks dan direndam dalam air yang bertujuan untuk mendinginkan sampel. Sampel yang sudah dingin, kemudian



Gambar 4.3 Mekanisme reaksi depolimerisasi PET

disaring dengan kertas saring. Filtrat hasil penyaringan merupakan HNO_3 , sedangkan residu adalah campuran PET dan monomernya. Monomer PET merupakan Asam tereftalat dan mekanisme rekasinya ditampilkan pada Gambar 4.3 (Yoshioka dkk., 1998).

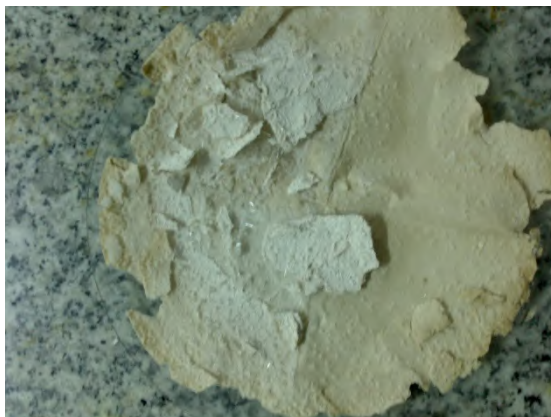
PET dan monomer dipisahkan dengan cara membilas kertas saring tersebut menggunakan larutan ammonium hidroksida (NH_4OH). Hal ini dilakukan karena penambahan NH_4OH akan menyebabkan reaksi antara NH_4OH tersebut dengan asam tereftalat membentuk diamonium tereftalat dalam fasa cair. Reaksi yang terjadi adalah :



Gambar 4.4 Reaksi Pembentukan Ammonium Tereftalat

Filtrat kemudian ditetesi larutan HNO_3 13,5 M sampai mencapai pH asam, dan terbentuk larutan keruh berwarna putih. Perlakuan ini bertujuan agar diamonium tereftalat yang terbentuk kembali menjadi asam terftalat yang ditandai dengan terbentuknya endapan putih sehingga larutan menjadi keruh. Hal ini terjadi dikarenakan gugus amonium ditukar dengan H^+ pada saat penambahan asam nitrat. Endapan kemudian disaring sehingga diperoleh padatan asam tereftalat seperti ditunjukkan pada Gambar 4.5. Asam tereftalat kemudian di oven pada suhu 105°C selama 5 jam, dengan tujuan untuk menguapkan air yang masih menempel pada permukaan monomer. Setelah selesai dikeringkan, sampel yang diperoleh

ditimbang untuk diketahui massa yang diperoleh. Massa asam tereftalat dari masing-masing proses refluks ditampilkan pada Tabel 4.1.



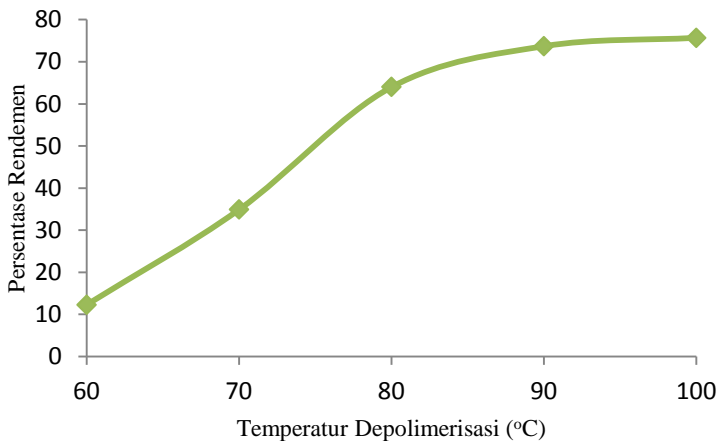
Gambar 4.5 Serbuk hasil depolimerisasi PET

Tabel 4.1 Perolehan Monomer Hasil Depolimerisasi PET

No	Suhu Refluks	Massa PET awal (gram)	Massa Monomer TPA hasil hidrolisis (gram)	% Rendemen
1	60°C	2,0075	0,2482	12,3
2	70°C	2,0035	0,6996	34,9
3	80°C	2,0037	1,2838	64,0
4	90°C	2,0035	1,4773	73,7
5	100°C	2,0012	1,5165	75,7

Tabel 4.1 menunjukkan bahwa dengan meningkatnya suhu depolimerisasi akan meningkatkan pula jumlah randemen

monomer yang diperoleh. Perolehan maksimal monomer adalah pada suhu 100°C yakni sebesar 1,5165 gram dengan rendemen 75,7%. Pada suhu 60°C hanya didapatkan 0,2482 gram dengan rendemen 12,3%. Pada suhu 80°C sampai 100°C terjadi kenaikan meski tidak signifikan. Suhu 100°C bukan merupakan suhu optimum, namun pada suhu tersebut penelitian dihentikan karena ada kendala teknis yang tidak memungkinkan untuk suhu yang lebih tinggi lagi. Namun ada kecenderungan bahwa grafik rendemen bersifat trend positif. Gambar 4.6 menampilkan grafik hubungan antara suhu dengan % rendemen yang diperoleh.



Gambar 4.6 Grafik hubungan persentase rendemen dengan temperatur depolimerisasi

Meningkatnya massa monomer yang diperoleh dengan meningkatnya temperatur depolimerisasi terjadi karena pada suhu yang lebih tinggi, partikel-partikel polimer memiliki energi kinetik yang tinggi sehingga reaksi depolimerisasi lebih cepat berlangsung. Ini sesuai dengan hasil yang diperoleh Yoshioka dkk. (1998). Dalam reaksi ini, ikatan yang menghubungkan antara monomer satu dengan yang lainnya

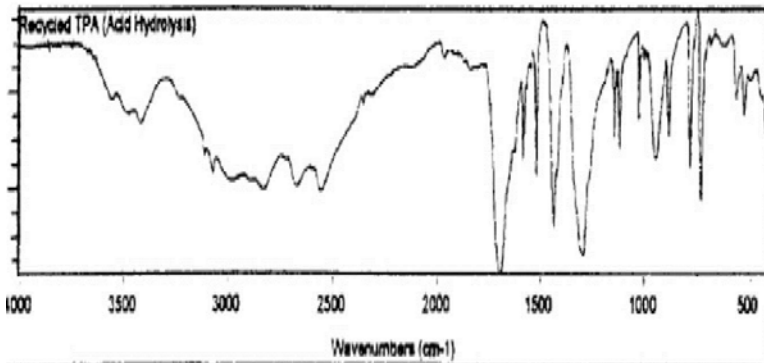
diputus oleh ion H^+ dari air dan asam nitrat pada proses protonasi. Pemutusan ikatan ini akan mengubah polimer menjadi oligomer dan kemudian oligomer menjadi monomer.

4.4 Karakterisasi Hasil Depolimerasi PET

4.4.1 *Fourier Transform Infra Red (FTIR)*

Sampel monomer hasil depolimerisasi pada suhu 70, 80, 90, dan 100 dikarakterisasi dengan spektroskopi FTIR yang bertujuan untuk memastikan bahwa monomer yang terbentuk merupakan asam tereftalat, yakni dengan membandingkan spektra FTIR standar.

Spektra FTIR asam tereftalat yang diperoleh dari proses hidrolisis menggunakan asam yang dilakukan oleh Raed (2011), ditampilkan pada gambar 4.7 berikut ini :



Gambar 4.7 Spektra FTIR Asam Tereftalat (Raed, dkk., 2011)

Berdasarkan spektra FTIR tersebut, diketahui puncak-puncak yang menunjukkan ciri khas asam tereftalat. Puncak khas tersebut menunjukkan cincin aromatik pada bilangan gelombang 700-800 cm^{-1} (C-H vibrasi tekuk posisi para). Pada bilangan gelombang 1680 cm^{-1} menunjukkan C=O vibrasi ulur. Puncak yang lain menunjukkan gugus karboksilat pada bilangan gelombang 1300 cm^{-1} (C-O vibrasi ulur), 1400 cm^{-1}

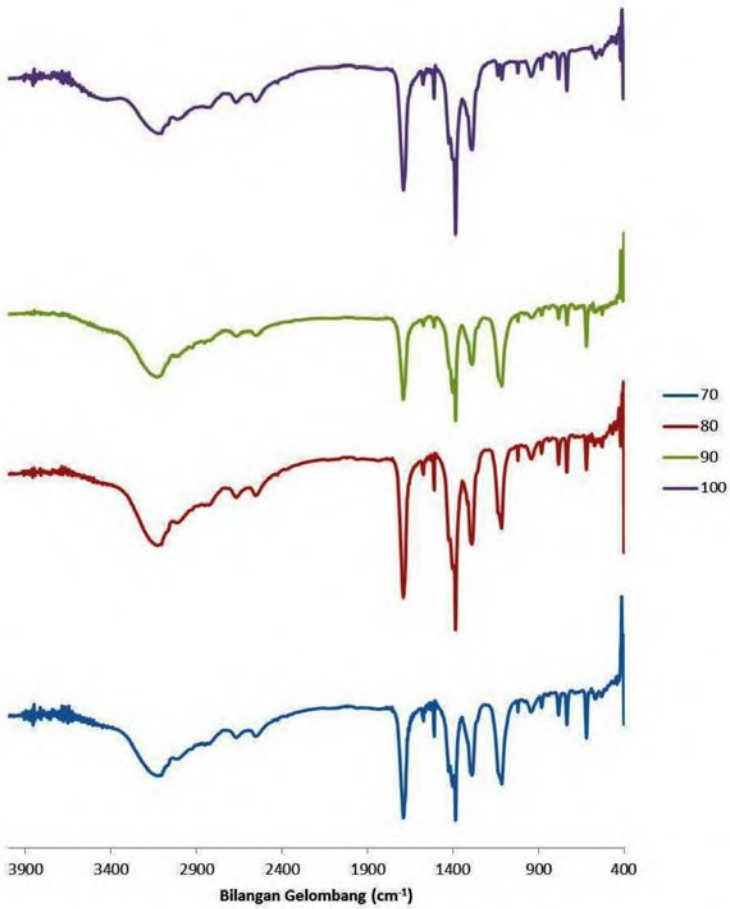
(O-H vibrasi tekuk), dan $2500-3100\text{ cm}^{-1}$ (O-H vibrasi ulur). Puncak khas yang didapat sesuai dengan struktur dari Asam Tereftalat yang ditunjukkan pada gambar 4.8.

Spektra dari sampel yang telah dikarakterisasi FTIR, menunjukkan adanya beberapa puncak gelombang khas yang sama dengan spektra standar. Pada bilangan gelombang sekitar 3200 cm^{-1} merupakan ciri O-H vibrasi ulur (*stretch*) dari gugus asam karboksilat. Puncak khas juga terlihat pada 1300 cm^{-1} dan 1400 cm^{-1} yang menunjukkan ciri ikatan C-O vibrasi ulur (*stretch*) dan O-H vibrasi tekuk (*bend*) dari gugus karboksilat. Lalu pada bilangan gelombang $700-800\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan C-H vibrasi tekuk (*bend*) aromatik pada posisi para. Pada 1600 cm^{-1} terdapat puncak yang menunjukkan adanya ikatan C=O vibrasi ulur (*stretch*) dari asam karboksilat.

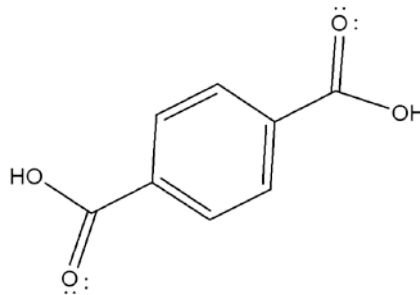
Tabel 4.2 merangkum puncak-puncak penting spektra FTIR dari ke-4 sampel yang diperiksa.

Tabel 4.2 Puncak-puncak penting spektra FTIR dari sampel

		Bilangan gelombang gugus fungsi (cm^{-1})				
		C-H bend	C-O stretch	O-H bend	C=O stretch	O-H stretch
Standart		800	1300	1400	1680	3100
Sampel	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)					
1	70	881.41	1288.36	1384.79	1689.53	3122.54
2	80	881.41	1288.36	1384.79	1689.53	3124.47
3	90	881.41	1286.43	1384.79	1689.53	3132.18
4	100	881.41	1288.36	1384.79	1689.53	3105.18



Gambar 4.8 Spektra FTIR TPA hasil hidrolisis PET dengan variasi suhu 70°C, 80°C, 90°C, dan 100°C



Gambar 4.9 Struktur asam tereftalat (TPA)

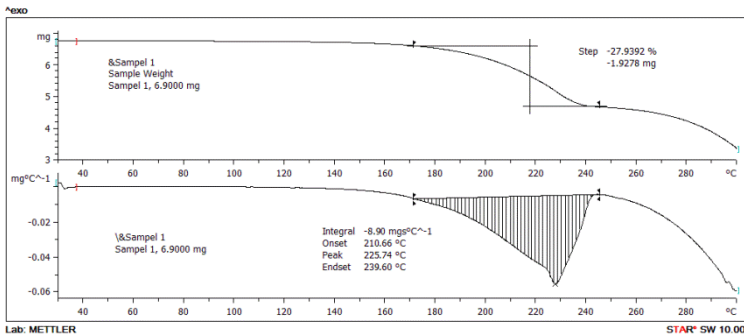
Ditinjau dari spektra keempat sampel, terlihat ada pergeseran bilangan gelombang. Pada sampel 1 hingga 3 puncak bergeser ke kanan, contohnya gugus C=O *stretch* pada variasi suhu 70-100°C bergeser dari 3122,54 hingga 3105,18. Ini menunjukkan ikatannya semakin stabil, maka semakin murni pula sampel tersebut seperti yang disebutkan dalam buku Pavia dkk., (2009). Sampel 4 mengalami pergeseran lebih ke kanan dibanding sampel 1, maka sampel 4 lebih murni dari semua sampel. Hal ini merupakan efek dari perbedaan suhu yang digunakan dalam reaksi, yang mana sampel 1, 2, 3 lebih rendah dibanding sampel 4. Pada suhu tinggi tumbukan antar partikel lebih cepat terjadi yang mengakibatkan pengotor pada sampel 1,2,3 yang belum sempat bereaksi, pada sampel 4 dapat bereaksi dan menghasilkan produk. Karena itu hasil FTIR sampel 4 lebih murni karena pengotor di dalamnya berubah menjadi produk.

4.4.2 Analisis Termal

4.4.2.1 *Thermal Gravimetry Analysis (TGA)*

Hasil depolimerisasi PET dianalisis lebih lanjut dengan TGA untuk mengetahui sifat-sifat termalnya dan tingkat kemurniannya. Sampel hasil depolimerisasi pada suhu 100°C digunakan karena memiliki rendemen terbaik diantara sampel yang lain.

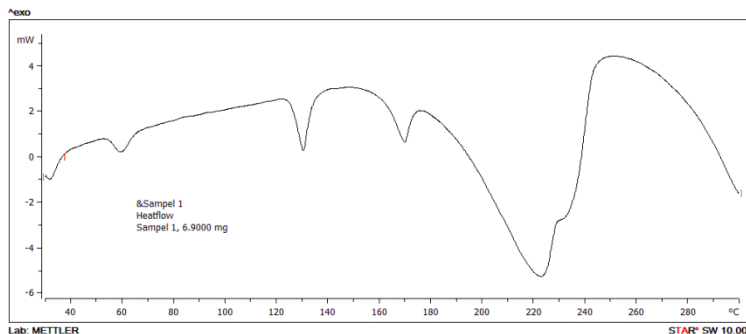
Sebanyak 6,9 miligram sampel dimasukkan dalam instrument TGA dan dipanaskan dengan *heat rate* 10°C/menit dari suhu 20°C sampai dengan 300°C pada atmosfer udara. Tujuan dari analisa ini adalah untuk mengetahui perubahan pada sampel hasil depolimerisasi PET yang diakibatkan oleh kenaikan suhu. Termogram yang dihasilkan ditampilkan pada Gambar 4.10. Terjadi proses dekomposisi termal pada suhu 210,66°C hingga 239,60°C sekitar 27,39%. Dengan adanya pengurangan massa maka terbukti bahwa asam tereftalat berhasil didapat pada reaksi hidrolisis yang dilakukan. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilaporkan oleh Wang (2009) yang menyebutkan bahwa dekomposisi termal dari BHET terjadi pada suhu antara 200-220°C. Namun produk yang dihasilkan pada penelitian ini tidak 100% murni melainkan hanya 27,39% asam tereftalat yang berhasil didapatkan. Hal tersebut juga diakibatkan ketidakmurnian dari produk hasil depolimerisasi dan adanya pengotor berupa dimer, oligomer TPA maupun pengotor dengan komposisi lain yang tercampur dalam produk.



Gambar 4.10 Termogram TGA TPA hasil dari hidrolisis PET

4.4.2.2 Differential Scanning Calorimetry (DSC)

Analisi ini menggunakan instrumen *Differential Scanning Calorimetry* (DSC). Analisis ini bertujuan untuk mengetahui titik leleh (T_m) dari sampel tersebut.



Gambar 4.11 Termogram DSC TPA hasil hidrolisis PET

Pada Gambar diatas menunjukkan ada beberapa puncak yang menunjukkan adanya perubahan struktur tanpa disertai perubahan massa yaitu pada kisaran suhu 65° , 133° , dan 170°C . Penurunan tajam *molecular weight* asam tereftalat hasil depolimerisasi yang menandakan produk mengalami reaksi endotermis pada suhu $228,36^{\circ}\text{C}$. Puncak tersebut mendekati dari penelitian sebelumnya yakni sekitar 235°C yang dilakukan oleh Wang, dkk. (2009). Terjadi pergeseran dikarenakan adanya pengotor berupa produk dimer asam tereftalat (Imran, dkk., 2010). Ketidakmurnian juga dapat disebabkan karena penambahan bahan aditif pada pembuatan botol plastik PET. Penambahan bahan aditif tersebut menyebabkan perubahan sifat mekanik dari hasil akhir (Katas dkk., 2004).

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat diambil kesimpulan bahwa suhu dapat mempengaruhi hasil rendemen dari depolimerisasi limbah PET. Semakin tinggi suhu yang digunakan untuk reaksi depolimerisasi semakin besar pula hasil rendemen yang didapatkan. Hasil depolimerisasi PET berupa asam aereftalat dengan rendemen paling banyak 75,7%.

5.2 Saran

Pada penelitian ini perlu diteliti lebih lanjut faktor-faktor yang mempengaruhi hasil depolimerisasi dan diteliti lebih lanjut mana yang mempunyai hasil optimum dan mempunyai kemurnian TPA yang sangat mendekati dengan karakteristik dari TPA.

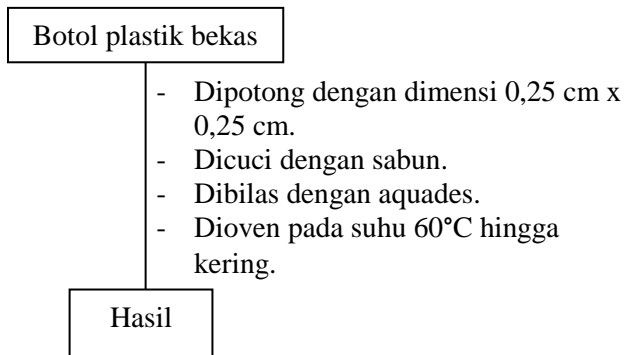
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

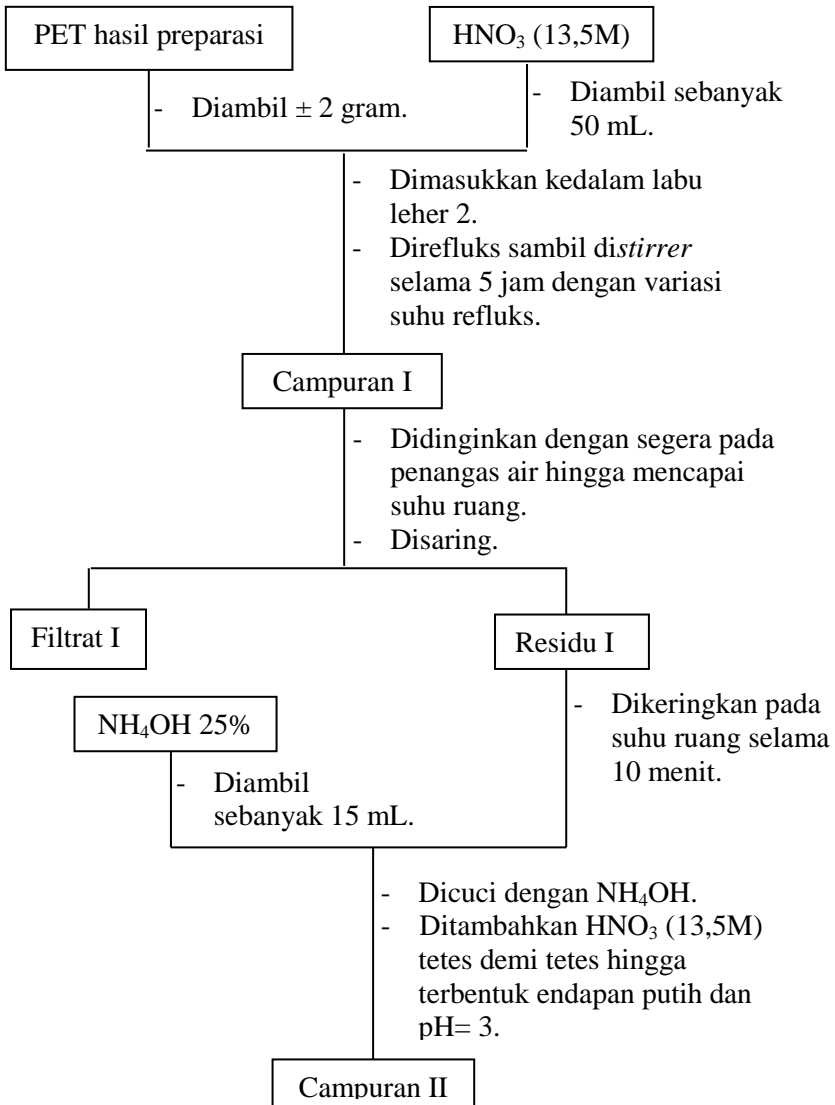
LAMPIRAN A SKEMA KERJA

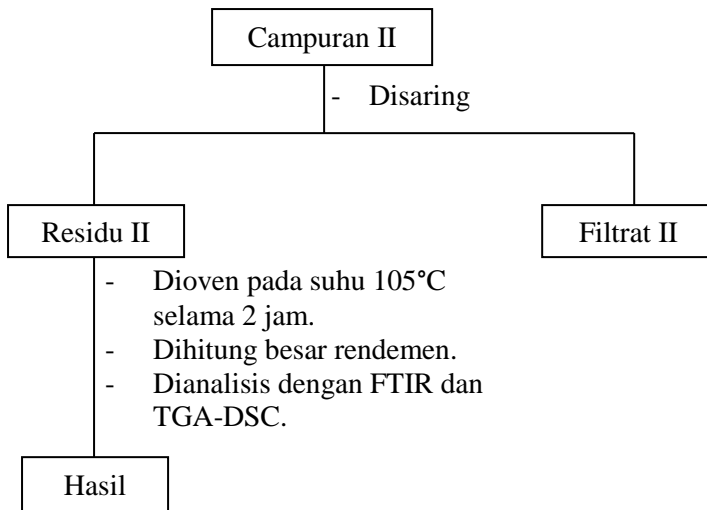
LAMPIRAN A : SKEMA KERJA

1. Preparasi Polietilen Tereftalat (PET)



2. Depolimerisasi Polietilen Tereftalat (PET)





“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN B PERHITUNGAN HASIL RENDEMEN

1. Perhitungan Pembuatan Larutan Asam Oksalat ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$) 1 M.

Teoritis:

Pembuatan 250 mL larutan asam oksalat 1 M, menggunakan bahan dasar serbuk asam oksalat dihidrat ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ($M_r = 126 \text{ g/mol}$) dengan perhitungan sebagai berikut:

$$M = \frac{\text{gram}}{M_r} \times \frac{1000}{V \text{ mL}}$$

$$1 = \frac{\text{gram}}{126} \times \frac{1000}{250}$$

$$\text{massa} = 31,5 \text{ gram.}$$

Praktek:

Asam oksalat dihidrat ditimbang sebanyak 31,5 gram dan dilarutkan dalam labu ukur 100 mL hingga tanda batas.

2. Perhitungan Pembuatan Larutan Natrium Hidroksida (NaOH) 6,5 M.

Teoritis:

Pembuatan 100 mL larutan natrium hidroksida 6,5 M, menggunakan bahan dasar pellet natrium hidroksida ($M_r = 40 \text{ g/mol}$) dengan perhitungan sebagai berikut:

$$M = \frac{\text{gram}}{M_r} \times \frac{1000}{V \text{ mL}}$$

$$6,5 = \frac{\text{gram}}{40} \times \frac{1000}{100}$$

$$\text{massa} = 26 \text{ gram}$$

Praktek:

Pellet natrium hidroksida ditimbang sebanyak 26 gram menggunakan botol timbang. Kemudian sedikit aquades ditambahkan kedalam botol timbang untuk melarutkan natrium hidroksida dan selanjutnya dilarutkan dalam labu ukur 100 mL hingga tanda batas.

3. Perhitungan Pembuatan Larutan Asam Nitrat (HNO₃) 13 M.**Teoritis:**

Pembuatan 250 mL larutan asam nitrat 13 M, menggunakan bahan dasar asam nitrat 65 % (Mr = 63 g/mol) dengan perhitungan sebagai berikut:

$$M = \frac{\% \times \rho \times 10}{Mr}$$

$$M = \frac{65 \times 1,4 \times 10}{63}$$

$$M = 14,4 \text{ M}$$

$$\begin{aligned} V_1 \times M_1 &= V_2 \times M_2 \\ V_1 \times 14,4 \text{ M} &= 500 \text{ mL} \times 13 \text{ M} \\ V_1 &= 451,4 \text{ mL} \end{aligned}$$

Praktek:

Asam nitrat (65 %) diencerkan sebanyak 451,4 mL dan dimasukkan dalam labu 500 mL yang sebelumnya ditambahkan aquades terlebih dahulu. Kemudian ditambahkan lagi aquades hingga tanda batas.

4. Perhitungan Standardisasi Larutan Natrium Hidroksida (NaOH) 6,5 M Menggunakan Larutan Asam Oksalat ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$) 1 M.

Teori:

$$\begin{aligned} \text{Mol ekuivalen NaOH} &= \text{Mol ekuivalen H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \\ e_1 \times V_1 \times M_1 &= e_2 \times V_2 \times M_2 \\ 1 \times 10 \times 6,5 &= 2 \times V_2 \times 1 \\ V_2 &= 3,25 \text{ mL} \end{aligned}$$

Setiap 10 mL NaOH 6,5 M membutuhkan 3,25 mL $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 1M.

Praktek:

Standardisasi larutan NaOH menggunakan metode titrasi asam-basa dengan penggunaan indikator fenolftalin (PP). Pada titrasi ini, NaOH berperan sebagai analat dan $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ sebagai titran. Larutan NaOH diambil sebanyak 10 mL dan dimasukkan kedalam erlenmeyer. Selanjutnya dititrasi dengan larutan $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ dan dicatat volumenya. Titrasi dilakukan triplo untuk mendapatkan konsentrasi larutan NaOH.

Dari titrasi yang telah dilakukan, didapat masing-masing volume $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ untuk setiap 10 mL NaOH:

$$V_1 = 3,2 \text{ mL}$$

$$V_2 = 3,3 \text{ mL}$$

$$V_3 = 3,3 \text{ mL}$$

Sehingga didapat volume rata-rata $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$:

$$V_{\text{rata-rata}} = (V_1 + V_2 + V_3) / 3$$

$$V_{\text{rata-rata}} = (3,2 + 3,3 + 3,3) / 3$$

$$V_{\text{rata-rata}} = 3,26 \text{ mL}$$

Perhitungan konsentrasi NaOH :

$$\text{Mol ekuivalen NaOH} = \text{Mol ekuivalen H}_2\text{C}_2\text{O}_4$$

$$e_1 \times V_1 \times M_1 = e_2 \times V_2 \times M_2$$

$$1 \times 10 \times M_1 = 2 \times 3,26 \times 1$$

$$M_1 = 6,52 \text{ M}$$

5. Perhitungan Standardisasi Larutan Asam nitrat (HNO_3) 13 M Menggunakan Larutan Natrium Hidroksida (NaOH) 6,12 M.

Teori:

$$\begin{aligned}\text{Mol ekivalen NaOH} &= \text{Mol ekivalen HNO}_3 \\ e_1 \times V_1 \times M_1 &= e_2 \times V_2 \times M_2 \\ 1 \times V_1 \times 6,5 &= 1 \times 5 \times 13 \\ V_1 &= 10 \text{ mL}\end{aligned}$$

Setiap 5 mL HNO_3 7,5 M membutuhkan 10 mL NaOH 7,5 M.

Praktek:

Standardisasi larutan HNO_3 menggunakan metode titrasi asam-basa dengan penggunaan indikator fenolftalin (PP). Pada titrasi ini, HNO_3 berperan sebagai analat dan NaOH sebagai titran. Larutan HNO_3 diambil sebanyak 5 mL dan dimasukkan kedalam erlenmeyer. Selanjutnya dititrasi dengan larutan NaOH dan dicatat volumenya. Titrasi dilakukan triplo untuk mendapatkan konsentrasi larutan HNO_3 .

Dari titrasi yang telah dilakukan, didapat masing-masing volume NaOH untuk setiap 5 mL HNO_3

$$\begin{aligned}V_1 &= 11 \text{ mL} \\ V_2 &= 11,1 \text{ mL} \\ V_3 &= 11 \text{ mL}\end{aligned}$$

Sehingga didapat volume rata-rata NaOH :

$$\begin{aligned}V_{\text{rata-rata}} &= (V_1 + V_2 + V_3) / 3 \\ V_{\text{rata-rata}} &= (11 + 11,1 + 11) / 3 \\ V_{\text{rata-rata}} &= 11,03 \text{ mL}\end{aligned}$$

Perhitungan konsentrasi HNO_3 :

$$\begin{aligned}\text{Mol ekivalen NaOH} &= \text{Mol ekivalen HNO}_3 \\ e_1 \times V_1 \times M_1 &= e_2 \times V_2 \times M_2 \\ 1 \times 11,03 \times 6,12 &= 1 \times 5 \times M_2 \\ M_1 &= 13,5 \text{ M}\end{aligned}$$

6. Perhitungan Rendemen Pada Masing-Masing Variasi Waktu Refluks.

Persen hasil rendemen dapat diperoleh melalui persamaan berikut :

$$\% \text{ Rendemen} = \frac{\frac{W \text{ TPA}}{MW \text{ TPA}}}{\frac{W \text{ PET}}{MW \text{ PET}}} \times 100\%$$

W TPA : Weight Terephthalate Acid

WM TPA : Molecular Weight Terephthalate Acid

a. Hidrolisis PET Suhu 60°C

$$\% \text{ Rendemen} = \frac{\frac{0,2482 \text{ gr}}{166 \text{ gr/mol}}}{\frac{2,0075 \text{ gr}}{192 \text{ gr/mol}}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Rendemen} = 12,3 \%$$

b. Hidrolisis PET Suhu 70°C

$$\% \text{ Rendemen} = \frac{\frac{0,6996 \text{ gr}}{166 \text{ gr/mol}}}{\frac{2,0035 \text{ gr}}{192 \text{ gr/mol}}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Rendemen} = 34,9 \%$$

c. Hidrolisis PET Suhu 80°C

$$\% \text{ Rendemen} = \frac{\frac{1,2838 \text{ gr}}{166 \text{ gr/mol}}}{\frac{2,0037 \text{ gr}}{192 \text{ gr/mol}}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Rendemen} = 64,0 \%$$

d. Hidrolisis PET Suhu 90°C

$$\% \text{ Rendemen} = \frac{\frac{1,4773 \text{ gr}}{166 \text{ gr/mol}}}{\frac{2,0035 \text{ gr}}{192 \text{ gr/mol}}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Rendemen} = 73,7 \%$$

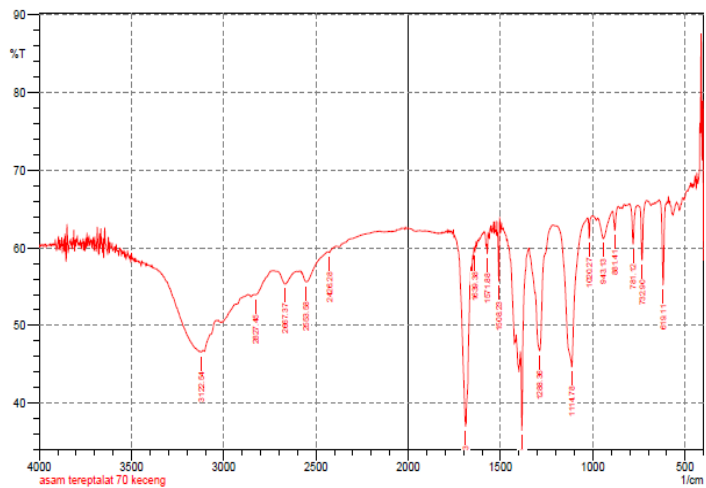
e. Hidrolisis PET Suhu 100°C

$$\% \text{ Rendemen} = \frac{\frac{1,5165 \text{ gr}}{166 \text{ gr/mol}}}{\frac{2,0012 \text{ gr}}{192 \text{ gr/mol}}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Rendemen} = 75,7 \%$$

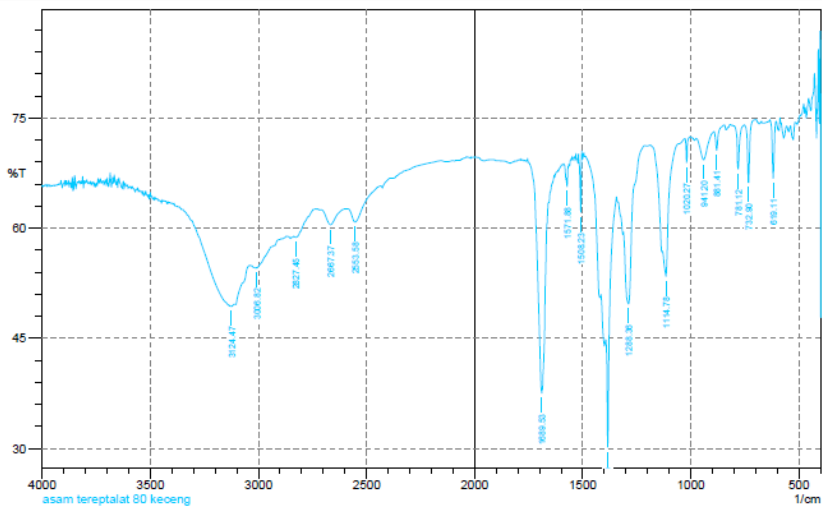
LAMPIRAN C HASIL KARAKTERISASI

1. FTIR Asam Tereftalat Suhu Refluks 70°C.



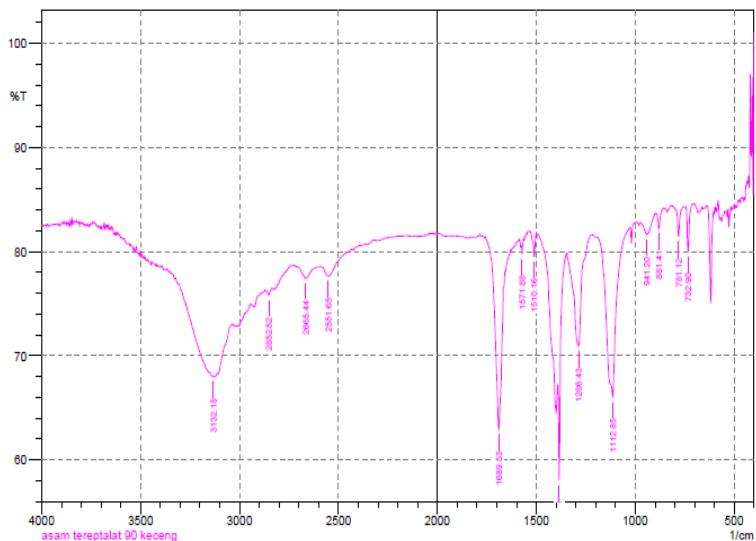
	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area
1	619.11	55.219	10.615	640.32	605.61	7.101	0.813
2	732.9	58.388	7.376	756.04	707.83	9.361	0.589
3	781.12	60.478	5.099	800.4	756.04	8.562	0.43
4	881.41	62.231	2.708	892.98	860.19	6.329	0.201
5	943.13	61.172	2.98	972.06	892.98	15.927	0.746
6	1020.27	61.214	2.709	1027.99	1000.99	5.351	0.115
7	1114.78	44.685	16.638	1195.78	1027.99	41.307	8.028
8	1288.36	46.766	14.479	1344.29	1218.93	31.525	4.98
9	1384.79	36.503	11.296	1390.58	1346.22	12.437	0.731
10	1508.23	55.661	7.83	1515.94	1504.37	2.616	0.292
11	1571.88	59.251	2.002	1575.73	1568.02	1.699	0.057
12	1639.38	59.486	0.868	1643.24	1633.59	2.144	0.037
13	1689.53	37.031	21.848	1749.32	1660.6	26.467	6.467
14	2426.28	59.386	0.213	2432.07	2393.5	8.8	0.01
15	2553.58	55.621	1.626	2586.36	2434	36.58	0.831
16	2667.37	66.348	1.634	2707.87	2603.72	26.029	0.589
17	2827.45	53.954	0.318	2835.16	2746.44	22.795	0.127
18	3122.54	48.584	0.165	3130.25	3114.82	5.109	0.014

2. FTIR Asam Tereftalat Suhu Refluks 80°C.



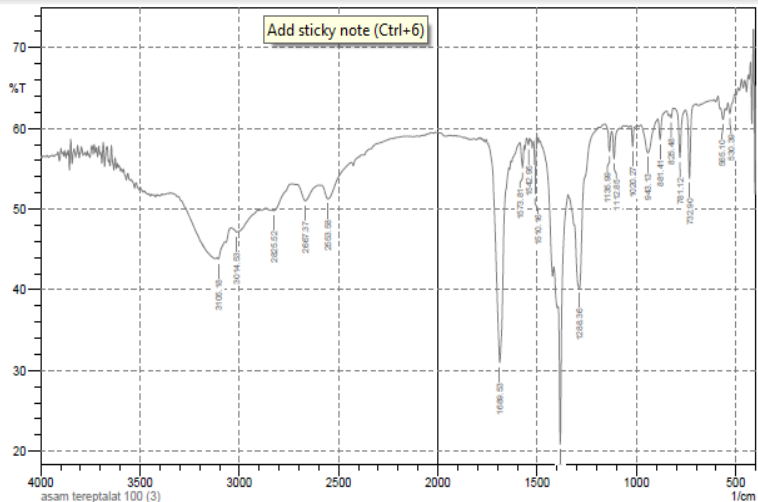
	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area
1	619.11	66.79	7.857	634.54	605.61	4.152	0.48
2	732.9	66.204	8.15	752.19	711.68	5.783	0.554
3	781.12	68.041	5.926	798.47	752.19	6.493	0.435
4	881.41	70.587	2.778	892.98	844.76	6.603	0.182
5	941.2	69.301	3.308	975.91	892.98	12.212	0.72
6	1020.27	68.928	3.338	1027.99	1002.92	3.653	0.123
7	1114.78	53.436	6.814	1132.14	1056.92	14.858	-0.041
8	1288.36	49.687	12.598	1311.5	1215.07	20.149	2.157
9	1384.79	30.178	18.354	1394.44	1344.29	14.748	1.184
10	1508.23	62.157	8.25	1519.8	1504.37	2.71	0.35
11	1571.88	65.671	1.757	1575.73	1564.16	2	0.042
12	1689.53	37.518	29.795	1749.32	1643.24	28.772	8.853
13	2553.56	60.838	2.466	2586.36	2434	30.343	0.889
14	2667.37	60.428	2.125	2709.8	2601.79	22.702	0.705
15	2827.45	58.733	0.534	2837.09	2771.52	14.641	0.182
16	3006.82	54.596	0.099	3008.75	2927.74	20.302	-0.027
17	3124.47	49.359	0.044	3126.4	3112.89	4.128	0.006

3. FTIR Asam Tereftalat Suhu Refluks 90°C.



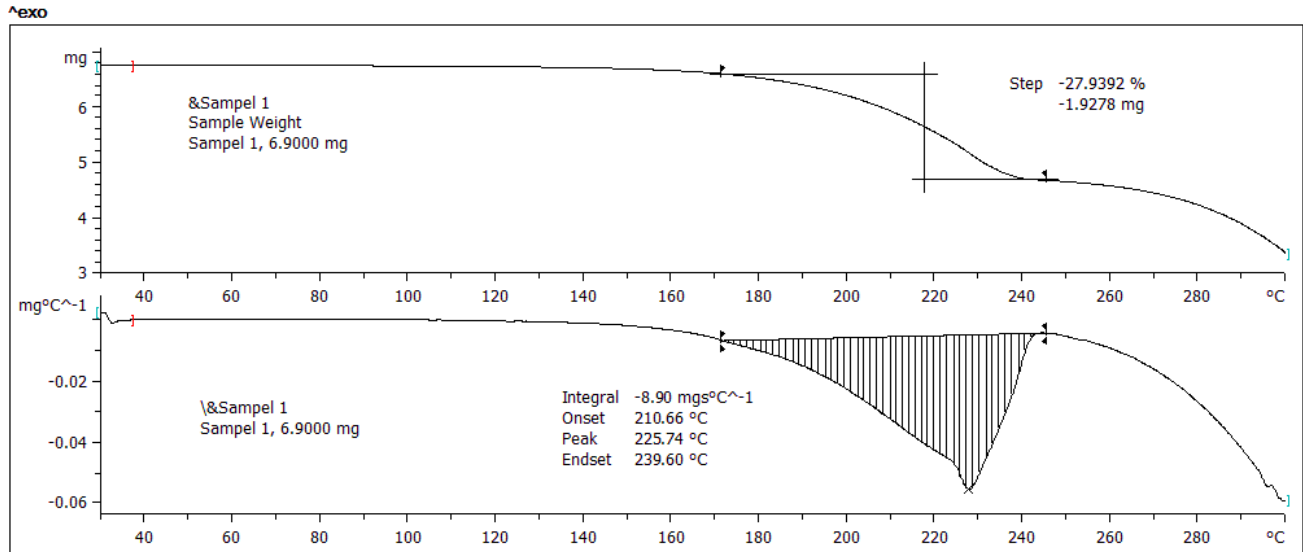
	Peak	Intensiy	Corr. Intensiy	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area
1	732.9	80.005	4.427	746.4	709.76	2.95	0.265
2	781.12	81.429	2.863	804.26	750.26	4.201	0.195
3	881.41	82.21	1.6	892.98	854.41	3.034	0.096
4	941.2	81.807	1.57	973.99	898.77	6.308	0.312
5	1112.85	66.045	15.804	1191.93	1026.06	19.453	5.044
6	1286.43	70.928	6.538	1309.58	1222.79	9.942	0.926
7	1384.79	58.062	11.26	1392.51	1346.22	6.347	0.094
8	1510.16	79.502	2.254	1531.37	1502.44	2.657	0.137
9	1571.88	79.755	0.997	1575.73	1564.16	1.086	0.02
10	1689.53	62.904	16.288	1755.1	1658.67	12.756	3.291
11	2551.05	77.829	1.261	2584.44	2434	15.491	0.39
12	2665.44	77.424	1.056	2707.87	2623.01	9.171	0.24
13	2852.52	75.803	0.469	2871.81	2844.81	3.205	0.032
14	3132.18	67.97	0.054	3137.97	3130.25	1.291	0.002

4. FTIR Asam Tereftalat Suhu Refluks 100°C.



Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area	
1	530.39	61.835	1.621	540.03	505.31	6.976	0.175
2	565.1	61.105	1.367	576.68	553.53	4.835	0.106
3	732.9	53.812	8.752	754.12	700.11	11.747	0.778
4	781.12	56.395	5.971	815.83	754.12	13.253	0.603
5	825.48	61.31	0.753	833.19	815.83	3.629	0.038
6	881.41	58.618	2.826	892.98	850.55	9.127	0.216
7	943.13	56.964	3.786	977.84	892.98	19.385	1.056
8	1020.27	57.774	2.549	1027.99	1000.99	6.085	0.155
9	1112.85	56.238	3.509	1126.35	1085.85	9.321	0.281
10	1135.99	57.141	2.735	1161.07	1126.35	7.882	0.201
11	1288.36	40.145	10.331	1313.43	1188.07	35.216	1.421
12	1384.79	20.837	19.877	1394.44	1346.22	19.344	2.653
13	1510.16	51.901	7.01	1517.87	1502.44	3.934	0.388
14	1542.95	57.95	0.803	1552.59	1539.09	3.156	0.039
15	1573.81	55.099	2.896	1587.31	1566.09	5.245	0.233
16	1699.53	30.984	25.572	1757.03	1643.24	37.235	9.306
17	2553.58	51.233	2.339	2586.36	2435.93	40.888	1.058
18	2673.7	51.026	1.998	2709.8	2603.72	30.019	0.784
19	2825.52	49.805	0.464	2837.09	2734.87	29.534	0.066
20	3014.53	47.159	0.699	3031.89	2894.95	43.136	0.381
21	3105.18	43.809	0.488	3110.97	3072.39	13.407	0.009

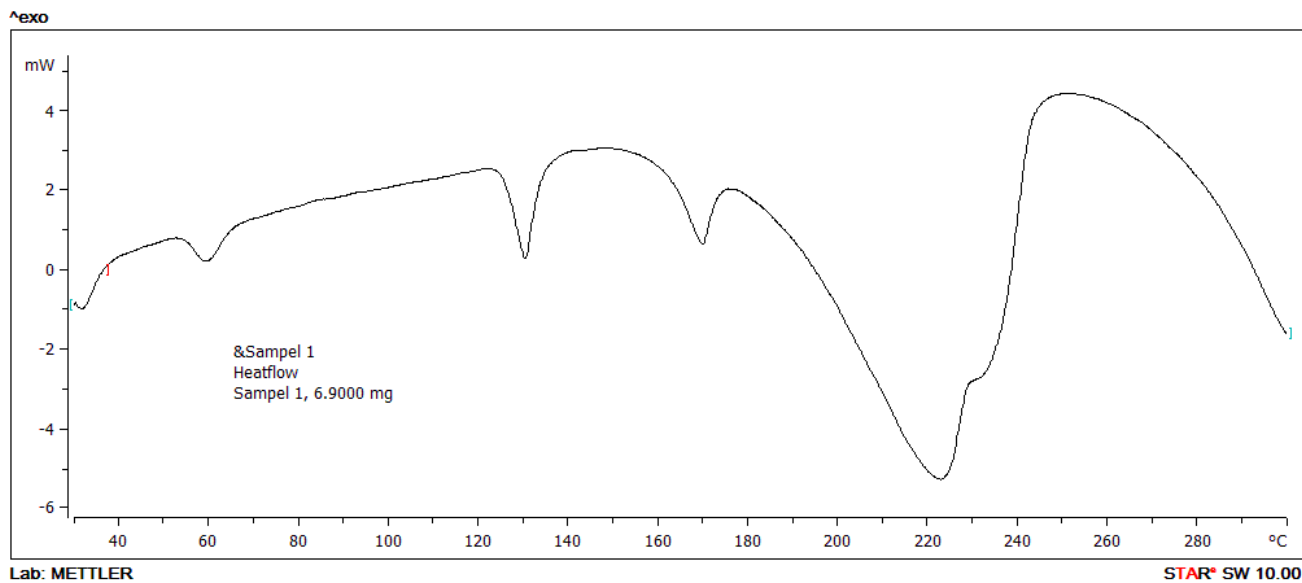
1. Termogram TGA Asam Tereftalat Suhu Refluks 100°C



Lab: METTLER

STAR[®] SW 10.00

2. Termogram DSC Asam Tereftalat Suhu Refluks 100°C



DAFTAR PUSTAKA

- Aguado, J. and David, Serrano P. (1999) "Feedstock Recycling Of Plastic Waste", The Royal Society Of Chemistry. Cambridge. UK.
- Al-Salem, S.M., Lettieri, P. dan Baeyens, L. (2009), "Recycling And Recovery Routes of plastic Solid Waste (PSW)", *Waste Management* 29, 2625-2643.
- Amalia, Nina., (2013), "Pengaruh Konsentrasi Katalis Natrium Karbonat Pada Rendemen Hasil Depolimerisasi Limbah Botol Polietilen Tereftalat (PET)", KIMIA FMIPA ITS, Surabaya.
- Awaja, Firas dan Pavel, Dumitru. (2005), "Recycling Of PET", *European Polymer Journal* 41, 1453-1477.
- Bandi, S., Sanjay Mehtab, David A., (2005), "The Mechanism Of Color Generation In Poly(ethylene terephthalate)/ Polyimide Blends", *Polymer Degradation and Stability*, 88, 341-348
- Billmeyer, J.R., and Fred W., (1984), "Text book of Polymer Science, 3rd edition", John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Bower, David I. (2002), "An Introduction to Polymer Physics", Cambridge University Press, New York.
- Colomines, G., Jean-Jacques, Robin., Gilles Tersac. (2005), "Study Of The Glycolysis of PET By Oligoester", *Polymer* 46, 3230-3247.
- Dean, John A., (1995), "The Analytical Chemistry Handbook", Mc.Graw-Hill, Inc. New York.

- Gunawan, Adrian. (2013), “Aktivitas Reduksi Oksida Perovskit LaCoO_3 , $\text{La}_{1-y}\text{Sr}_y\text{Co}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}\text{O}_3$ dan $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ dengan $0,0 \leq x, y \leq 0,4$ ”, KIMIA FMIA ITS, Surabaya.
- Hall, A. C., (1990), “Polymer Material. 2nd edition”, John Willey & sons, New York.
- He, Jiang-Ping., Hua-Ming, Li., Xiau-Yu Wang dan Yong Gao. (2006), “In Situ Preparation Of Poly(Ethylene Terephthalate)-Si-O₂ Nanocomposites”, *European Journal* 42, 1128-1134.
- Hummel, (1985), “Infrared Spectra Polymer in The Medium and Long Wavelength Region”, John Willey and Sons. New York
- Imran, M., Kim, B., Han, M., Cho, B dan Kim, D. (2010), “Sub and Supercritical Glycolysis Of Polyethylene Terephthalate (PET) Into The Monomer Bis(2-Hydroxyethyl) Terephthalate (BHET)”, *Polymer Degradation and Stability* 95, 1686-1693.
- Kattas, L., Fred, Gastrock., Inessa, Levin. 2004. “Plastic Additives”, Research Analyst Townsend Tarnell, Inc., New Jersey.
- Kroschwitz, Jacqueline I. (1990), “Polymer Characterization and Analysis”, John Wiley & Sons Inc., USA.
- Mahmudah, R., (2012), “Pengaruh Konsentrasi Katalis Kalium Karbonat Pada Proses Depolimerisasi Limbah Botol Plastik Polietilen Tereftalat”, KIMIA FMIPA ITS, Surabaya.
- Muccio, E. A., (1997), “Plastic Part Technology”, ASM International, USA.

- Mujiarto, Iman., (2005), “Sifat dan Karakteristik Material Plastik dan Bahan Aditif”, AMNI, Semarang.
- Pavia, Donald L., Lampman, Gary M., Kriz, Goerge S., Vyvyan, JamesR., (2009), “Introduction of Spectroscopy Fifth Edition”, Cengage Learning, USA.
- Pingale, N D. and Shukla, S R. (2008), “Microwave Assisted Ecofriendly Recycling Of Poly(Ethylene Terephtalae) Bottle Waste”, *European Polymer Journal* 44, 4151-4156.
- Raed, K., Khalaf, Moayad N., Sabri, May., Sabri, Luma., (2011), “Post Consumer Poly(ethylene terephtalate) Depolymerization by Waste of Battery Acid Hydrolysis”, *Journal Material Environmental Science* 2, 2, 88-93.
- Rahayu, Winiati Puji dan Arpah, M. (2004), “Pengetahuan Kemasan Plastik (Produk Industri Panganan Jasa Boga)”, Departemen Teknologi Pangan dan Gizi, Fakultas Teknologi, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Rakhmayanti, A., (2012), “Pengaruh Suhu Pada Daur Ulang Polietilen Tereftalat Melalui Glikolisis dengan Menggunakan Katalis Natrium Bikarbonat”, KIMIA FMIPA ITS, Surabaya.
- Sandler, Stanler R., Karo, Wolf., Bonesteel, Jo-anne dan Pearce, Eli M. (1998), “Polymer Synthesis and Characterization”, Academic Press., USA.
- Sibilia, P., (1996), “Guide to Material Characterization and Chemical Analysis 2th edition”, John Willey-VCH., New York.

- Siddique, Raffat. (2008), "Waste Material and By-Product in Concrete: Recycled/Waste Plastic", *Springer Verlag Berlin Heidelberg*, pp, 93-120, Berlin.
- Sinaga, Edi, (2008), "Prarancang Pabrik Pembuatan Kristal polyethylne terephtalate dengan reaksi esterifikasi langsung terephtalate acid and ethylene glycol dengan kapasitas produksi 200.000 ton/tahun", Universitas Sumatra Utara. Medan
- Suh, D.J., O.O. Park dan K.H. Yoon, (2000), "The Properties Of Unsaturated Polyester Based On The Glycolyzed Poly(Ethylene Terephtalate) With Various Glycol Compositions", *Polymer* 41, 461-466.
- Suwardi., Partana, C. F., Salim, A., Anitasari, D., (2005), "Sintesis Dibenzil Tereftalat Melalui Depolimerisasi Plastik Poli(etilen tereftalat) sebagai Alternatif Daur Ulang Plastik Bekas", *Makalah teknologi*, 9, 20-24.
- Vellini, M., Savioli, M., (2009), "Energy and Environmental Analysis of Glass Container Production and Recycling", *Energy*, 34, 2137-2143.
- Wang, Hui., Yanqing, Liu., Zengxi, Li., Xiangping, Zhang., Soujiang, Zhang. Dan Yanqiang, Zhang, (2009), "Glycolysis Of Poly(Ethylene Terephtalate) Catalyzed By Ionic Liquids", *European Polymer Journal* 45, 1535-1544.
- Welle, Frank, (2011), "Twenty years of PET bottle to bottle recycling – An overview", *Resource conservation and recycling*, 55, 865-875

Yoshioka, Toshiaki., Okayama, Nobuchika., Okuwaki, Akitsugu., (1998), "Kinetics of Hydrolysis of PET Powder in Nitric Acid by a Modified Shrinking-Core Model", *Ind. Eng. Chem.*, 37, 336-340.

“Hamalan ini sengaja dikosongkan”



BIODATA PENULIS

Penulis dilahirkan di Surabaya, 14 November 1990 dengan nama lengkap Reza Bakhtiar. Pendidikan formal yang telah ditempuh oleh penulis, yaitu di TK Sepuluh Nopember Surabaya, SD Islam Maryam Surabaya, SMPN 19 Surabaya dan SMA Shalahuddin Malang. Setelah lulus dari SMA Shalahuddin Malang, penulis melanjutkan studi sarjana di jurusan Kimia ITS Surabaya melalui jalur SNMPTN pada tahun 2009 dan terdaftar dengan NRP 1409 100 009. Selama kuliah penulis sempat aktif dalam Himpunan Mahasiswa Kimia (HIMKA) ITS sebagai staf Divisi Entrepreneur (DIVENT) 2009/2010. Penulis juga aktif dalam komunitas Bonek Campus ITS (BOCA ITS). Penulis juga pernah melaksanakan kerja praktek di PT.DJARUM Kudus. Penulis mengambil Tugas akhir dalam bidang POLIMER di Laboratorium Kimia Material dan Energi ITS dibawah bimbingan Lukman Atmaja, Ph.D. Penulis dapat dihubungi melalui email muzadi09@gmail.com.