

## PEMBUATAN POLYBUTYLENTEREPHATHALAT(PBT) SEBAGAI SUBSTITUSI IMPOR UNTUK BAHAN PEMBUATAN CAP LAMPU HEMAT ENERGI (LHE)

### THE MAKING OF POLYBUTYLENTEREPHATHALAT(PBT) AS AN IMPORT SUBSTITUTION FOR THE MAKING MATERIALS OF ENERGY-EFFICIENT LAMPSCAP.

Rumintang Ruslinda Panjaitan

Email : rumintangrp@yahoo.com

Balai Riset dan Standardisasi Industri Surabaya

Jl Jagir Wonokromo 360 Telp (031)8410054 Surabaya 60244

Diajukan: 1/3/2013, Direvisi: 12/4/2013, Disetujui: 6/12/2013

#### ABSTRACT

*Polybutylen Terephthalat (PBT) is one of material for making lampscap that still being imported. The purpose of this research is to increase the usage of domestic raw materials, thereby reducing the imported material. The process of making PBT can be conducted by using poly ethylene therephthalate (PET) waste or PET virgin with solvent 1.4 butanediol (BDO). The result of the test showed that the melting point products obtained between 215°C up to 222°C. The result on the densitas between 1,3285 cm<sup>3</sup> up to 1,3427g / cm<sup>3</sup>. With FTIR analysis, products already ordered PBT properties. The result of the glowire qualified SNI 04-6504-2001. The results of analysis of the parameters have met the requirements for the manufacture of PBT. Increasing the use of local raw materials will reduce the import materials. Of economic analysis, cost efficiency by using local materials PET virgin and PET waste respectively are 39.46% and 50.06%.*

*Key Words : Polybutylen Terephthalat, Polyethylene terephthalate, Butanediol*

#### ABSTRAK

Polybutylen terephthalat (PBT) adalah salah satu bahan untuk pembuatan Cap LHE yang selama ini masih diimport. Tujuan penelitian adalah untuk meningkatkan penggunaan bahan baku dalam negeri sehingga mengurangi bahan impor. Proses pembuatan PBT dapat dilakukan dengan memanfaatkan Poly Ethylene Therephthalate (PET) waste atau PET virgin dengan solven 1.4 Butanediol (BDO). Hasil uji titik leleh produk diperoleh antara 215°C s/d 222°C. Hasil uji densitas antara 1,3285 s/d 1,3427g/cm<sup>3</sup>. Dengan analisa FTIR, produk percobaan sudah sesuai sifat PBT. Hasil uji glowire memenuhi syarat SNI 04-6504-2001. Hasil analisa telah memenuhi persyaratan untuk produk Polybutylen terephthalat. Dengan meningkatkan penggunaan bahan baku lokal, dapat mengurangi bahan import. Dari analisa ekonomi, efisiensi biaya dengan menggunakan bahan local PET virgin dan PET waste berturut-turut adalah 39,46% dan 50,06%.

Kata Kunci : PolybutylenTerephthalat,Polyethylene terephthalate, Butanediol

#### PENDAHULUAN

Dengan program Donasi 51 juta LHE kepada masyarakat, perusahaan-perusahaan industri lampu berlomba-lomba memproduksi lampu jenis ini. Bahkan produsen alat elektronik asal Jepang pun sudah mulai melirik untuk memproduksi LHE secara besar-besaran. Empat produsen lampu telah siap menginvestasikan dananya di Indonesia.

Jadi, selain bisa meringankan beban energi bila investasi ini jadi, perusahaan baru itu juga

akan menyerap enam ribu tenaga kerja. Ini tentunya sangat menguntungkan Ketua Asosiasi Industri Lumener dan Kelistrikan Indonesia Kementerian Perindustrian mengharuskan agar para produsen lampu mengedepankan lokal konten. Produsen lampu masih mengimpor bahan baku PBT.

Jika target 20 juta lampu terpenuhi maka akan terjadi penghematan subsidi sehingga kenaikan tarif daya listrik dapat ditekan. Disisi lain penghematan itu juga dapat menunda investasi pembangunan mesin pembangkit listrik.

PBT adalah suatu termoplastik semikristalin yang termasuk ke dalam keluarga polyester. PBT banyak dipakai sebagai plastik teknik (*engineering plastic*) misalnya sebagai komponen sistem elektrik, konektor, soket elektrik, bobbin, serta komponen insulasi.

Keunggulan serat PBT dibanding serat poliester lain salah satunya adalah dapat dicelup di bawah 100°C tanpa perlu penambahan *carrier*. Tentunya ini adalah nilai tambah yang sangat baik karena dapat meminimalkan penggunaan energi, zat kimia (dalam hal ini *carrier*) dan polusi bila dibandingkan dengan serat poliester yang biasanya membutuhkan penambahan *carrier* bila ingin dicelup pada suhu sekitar 100°C.

Serat PBT memiliki sifat elektrik dan sifat mekanik yang baik termasuk rigiditas yang tinggi serta memiliki ketahanan terhadap beberapa zat kimia, pelarut, dan minyak. PBT adalah plastik yang digunakan sebagai isolator dalam listrik dan elektronik industri. *thermoplasticpolymerpolyester glass-fibre flame retardants*

Lokal konten dalam LHE ada tiga bagian yaitu glass, cap, dan modul. "Kemenperin ingin sekali mengisi potensi ini agar menggunakan produksi dalam negeri.

Sebaiknya PLN bisa memakai lampu lokal dan jangan pakai produk yang mungkin Tingkat Komponen Dalam Negeri (TKDN) - nya kurang 25 persen. Karena program kita memberdayakan industri dan menyerap tenaga kerja.

Menurut wakil produsen lampu, umur lampu tersebut bisa mencapai lima tahun. Selain itu, lampu tersebut sangat hemat energi. Misalnya saja, lampu sebesar 9 watt memiliki terang yang sama dengan lampu bohlam sebesar 40 watt. Kalau lampu bohlam lebih murah tapi umurnya kan cuma tiga bulan. Tapi kalau pakai lampu itu bisa mencapai lima tahun. Bagi PLN, banyaknya masyarakat yang menggunakan lampu hemat energi akan mengurangi beban subsidi pemerintah kepada PLN. Setiap penggunaan lampu hemat energi akan menghemat Rp 8.500 per tahun, kalau

dikurangi Rp 3.000 untuk subsidi kita masih untung.

Jika target 20 juta lampu terpenuhi maka akan terjadi penghematan subsidi sebesar Rp 5.500 dikalikan 20 juta, yakni Rp 110 milyar. Penghematan tersebut juga bisa berpengaruh pada naiknya TDL (tarif dasar listrik) . Sehingga kenaikan TDL dapat ditekan. Disisi lain penghematan itu juga dapat menunda investasi pembangunan mesin pembangkit listrik.

Industri barang-barang plastik didalam negeri pada umumnya menggunakan bahan baku biji plastik antara lain Poly Ethylene Therephthalate (PET), untuk pembuatan botol-botol plastik sejenis aqua dan minuman ringan antara lain botol 500 ml – 1500 ml.

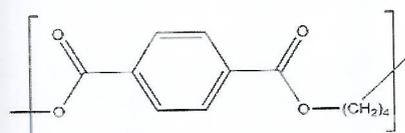
Pada saat ini perkembangan industri barang-barang plastik didalam negeri cukup pesat, hal tersebut dapat dilihat dari bertambahnya berbagai jenis barang-barang plastik yang diproduksi antara lain; barang-barang plastik kebutuhan rumah tangga dan industri.

Polimerisasi merupakan suatu jenis reaksi kimia dimana monomer-monomer bereaksi untuk membentuk rantai yang besar. Proses teknologi polimer bisa terjadi pada dua tahap yaitu tahap glikolis dan polimerisasi.

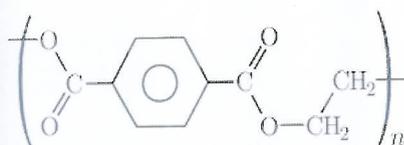
Polietilena terephthalat (PET , PETE atau dulu PETP, PET-P) adalah suatu resin polimer plastik termoplast dari kelompok poliester. PET banyak diproduksi dalam industri kimia dan digunakan dalam serat sintetis, botol minuman dan wadah makanan dan dikombinasikan dengan serat kaca dalam resin teknik. PET merupakan salah satu bahan mentah terpenting dalam kerajinan tekstil. Kebanyakan (sekitar 60%) dari produksi PET dunia digunakan dalam serat sintetis, dan produksi botol mencapai 30% dari permintaan dunia. Dalam penggunaannya di bidang tekstil PET biasanya disebut dengan poliester saja. Limbah dari PET ini digunakan dalam penelitian ini disamping PET virgin juga.

Bila PET direaksikan dengan Butanediol (BDO) sebagai pelarut akan menjadi PBT (*Polybutylene terephthalate*). Struktur kimia PBT dan PET terlihat pada

gambar berikut.



Poly(butylene terephthalate) - PBT



Poly(ethylene terephthalate)- PET

Struktur kimia PBT hampir sama dengan PET, perbedaan adalah pada gugus alkil yaitu etyl dan butyl. Butanediol (BDO) dengan rumus molekul  $C_4H_{10}O_2$  atau  $HO(CH_2)_4OH$  merupakan cairan kental jernih, titik didih 228- 230 C, Specific gravity. 1.017, larut dalam air, rapat uap 3.1, titik nyala 121 C, density 1.010  $g/cm^3$ . Untuk spesifikasi pemasaran, cairan kental jernih, kemurnian 99.5% min, peroksida 20ppm max, Air 0.05% max, kemasan 200kg dalam Drum.

Dengan butanediol sebagai solven, dapat mengubah gugus etyl menjadi butyl, hasil reaksi adalah PBT pada kondisi suhu didih Butanediol.

Dengan latar belakang tersebut diatas, Baristand Industri Surabaya mencoba meneliti pembuatan bahan yang digunakan yaitu PBT untuk bahan pembuatan cap lampu tersebut dengan mengupayakan dari bahan lokal sehingga harganya akan bisa lebih murah lagi.

Maksud dan tujuan penelitian adalah:

- Untuk meningkatkan penggunaan bahan baku dalam negeri sehingga mengurangi bahan impor.
- Untuk memanfaatkan bahan baku lokal dan waste PET dalam pembuatan bahan cap Lampu Hemat Energi(LHE).

Sasaran dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan produk PBT sebagai bahan baku pembuatan cap LHE yang sesuai untuk penggunaannya. Hasil yang

diperoleh diharapkan dapat mendorong pengembangan industri LHE yang menghasilkan barang barang cap LHE. Keluaran : satu paket proses pembuatan PBT untuk bahan baku pembuatan Cap LHE.

Ruang lingkup penelitian meliputi studi pustaka bahan PET dan PBT, survey lapangan, persiapan bahan baku untuk percobaan, persiapan untuk proses percobaan, percobaan pembuatan PBT dan uji produk (kimia dan fisik) hasil percobaan. Dari informasi data Kab Tangerang ada 139 perusahaan plastik (Data dari Dinas Perindag Kab Tangerang) terdiri dari berbagai komoditi barang plastik.

## METODE

Pembuatan ini dilaksanakan pada tahun 2009 di laboratorium teknologi material, jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

### Bahan

Bahan-bahan yang digunakan untuk percobaan adalah:

1. Bahan PET waste botol air minum dalam kemasan atau botol minuman ringan dan lain lain jenis PET dikecilkan kira-kira 0,5 cm sampai 1 cm.
2. PET murni (virgin)
3. Bahan untuk kemasan
4. Gas N2
5. Bahan pembantu, bahan bakar dan lain lain
6. Katalis tetrabutyl titanate.
7. 1.4 Butanediol

### Peralatan

Alat alat yang digunakan untuk percobaan adalah:

Satu paket proses peralatan proses Polimerisasi yaitu Reaktor kapasitas 600 ml, *Band heater*, Pompa vakum /blower vacuum, Pengaduk + motor, *Inverter*, *Reflux kondensor*, Termometer, Pemisah kondensor, Termokopel, Pengontrol Temperatur, Alat uji di laboratorium, Tabung gas nitrogen, *vapor trap*.

### Metode Penelitian

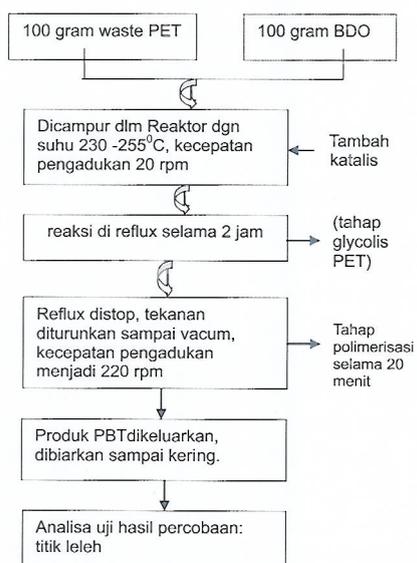
Dalam penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan yaitu :

1. Tahapan persiapan, untuk peralatan dan bahan
2. Tahap percobaan. Disini dilakukan percobaan pendahuluan yang dilaksanakan sesuai diagram alir percobaan
3. Dari percobaan pendahuluan dilanjutkan dengan perlakuan sesuai rancangan variable penelitian
4. Tahap pengumpulan data dan pengujian

Berikut adalah Tabel Rancangan Variabel Penelitian Perbandingan Berat dan Diagram Alir Proses Pembuatan PBT.

Tabel 1. Rancangan Variabel Penelitian Perbandingan Berat

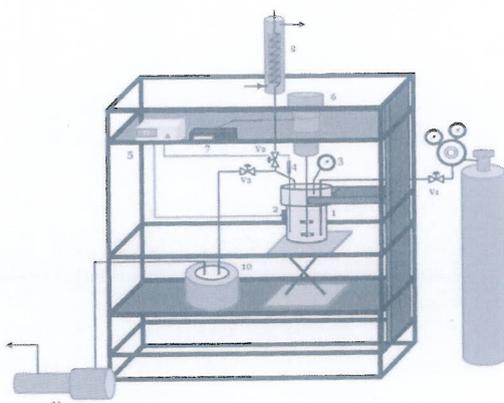
Waste PET : Butanediol	Virgin PET: Butanediol
80 : 100	80 : 100
90 : 100	90 : 100
100 : 100	100 : 100
110 : 100	110 : 100
120 : 100	120 : 100



Gambar 1. Diagram Alir Proses Pembuatan PBT

Prosedur kerja :

1. PET waste dan BDO ditimbang masing-masing,
2. Dimasukkan kedalam reaktor dan dicampur , diaduk dengan kecepatan 20 rpm , dipanasi pada suhu sekitar 230°C , katalis ditambah 0,2 ml,
3. Reaksi direflux selama kira-kira 2 jam , tahap glykolis,
4. Reflux distop, tekanan diturunkan sampai vacuum, pengadukan menjadi 220 rpm, tahap polimerisasi,
5. Produk dikeluarkan, dibiarkan sampai kering,
6. Uji analisa.



Gambar 2. Setup Peralatan Pembuatan Polybutylene Terephthalate (PBT) 3 Dimensi

Gambar terdiri dari reaktor(1), band heater(2), pressure gauge(3), thermocouple(4), pengontrol temperatur(5), motor+ pengaduk(6), inverter(7), kondensor(8), tabung gas N<sub>2</sub>(9), Vapor trap(10)terdiri dari Es+garam(10.1); Rubber proof(10.2); Ice chamber(10.3), dan pompa vakum(11); Valvepurge N<sub>2</sub>(V<sub>1</sub>); Valve ke kondensor(V<sub>2</sub>); Valve system vacuum(V<sub>3</sub>).

Sistem peralatan polimerisasi Polybutylene terephthalate terdiri dari reaktor polimerisasi yang terbuat dari material SS 316 L dengan volume dalam ± 600 ml.

Reaktor dilengkapi dengan pengaduk yang terdiri dari dua stage tipe flat blade, dengan 4 blade dengan kemiringan 45°. Motor yang digunakan pada pengaduk adalah jenis motor 3 phase dengan gear box, selain itu juga dipasang inverter

untuk mengatur kecepatan. Reaktor juga dilengkapi dengan *band heater* sebagai pemanas, *pressure gauge* sebagai indikator tekanan, *thermocouple* sebagai indikator temperatur untuk temperatur *controller*. Temperatur didalam reaktor dijaga menggunakan temperature *controller* yang dilengkapi dengan digital temperature display. Kondensor reflux juga dipasang pada reactor untuk mereflux gas-gas dari system reaksi selama proses reaksi berlangsung. Kondensor yang dipakai merupakan tipe koil, dengan air sebagai medium pendingin. Oksigen dari system reaksi diusir dengan menggunakan *purging* gas nitrogen untuk mencegah terjadinya reaksi oksidasi. Peralatan juga dilengkapi dengan sistem vakum yang terdiri dari vapor trap dan pompa vakum. *Vapor trap* tersusun dari dua chamber dan salah satunya diisi es yang ditaburi garam. Pompa vakum yang digunakan adalah jenis *liquid type*.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Hasil uji rata-rata kadar air bahan baku PET virgin adalah 0,1229% dan PET waste adalah 0,4504%, pengeringan dilakukan pada suhu 140°C selama 4 jam. Maksud pengeringan dilakukan adalah untuk memperkecil kadar air dan untuk menghindari terjadinya hidrolisis dalam proses pembuatan.

Densitas merupakan salah satu parameter yang penting dalam dinamika proses kimia. Faktor-faktor yang mempengaruhi densitas adalah suhu. Hasil analisa densitas dari produk PBT diperoleh antara 1,3285 s/d 1,3427g/cm<sup>3</sup> seperti terlihat pada tabel 1 di bawah. Hasil analisa densitas dari produk yang menggunakan bahan PET waste hampir sama dengan PET virgin. Dari literatur densitas dari PBT komersial adalah sekitar 1,31g/cm<sup>3</sup>.

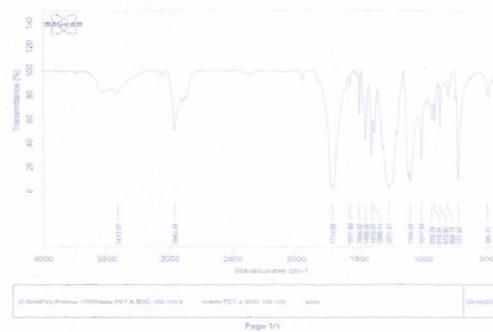
Tabel 1. Hasil Analisa Densitas Produk

Kosentrasi PET waste: Butanediol	Densitas (g/cm <sup>3</sup> )	Kosentrasi PET Virgin : Butanediol	Densitas (g/cm <sup>3</sup> )
80 : 100	1.3285	80 : 100	1.3358
90 : 100	1.3308	90 : 100	1.3343
100 : 100	1.3306	100 : 100	1.3352
110 : 100	1.3405	110 : 100	1.3365
120 : 100	1.3427	120 : 100	1.3356

Hasil uji analisa titik leleh produk PBT seperti terlihat pada tabel 2 di bawah 215°C sampai dengan 222°C hampir tidak ada perbedaan dari bahan PET waste dan PET virgin. Jika zat yang diamati tidak murni, maka akan terjadi penyimpangan dari senyawa murninya. Hasil uji tersebut bila dibandingkan dengan PBT komersial sudah mendekati persyaratan yaitu 223°C . Hasil uji rata-rata glowwire pada 650°C, 30 detik memenuhi syarat SNI 04-6504-2001 yaitu tidak terbakar, menetes dan tidak membakar tissue. Hasil uji yang lain sesuai parameter SNI tersebut akan dilakukan penelitian lanjutan, karena penelitian ini adalah untuk pembuatan PBT sebagai bahan baku untuk pembuatan Cap lampu. Sedangkan SNI tersebut adalah lampu Swabalast untuk pelayanan pencahayaan umum.

Tabel 2. Hasil Analisa Titik Leleh

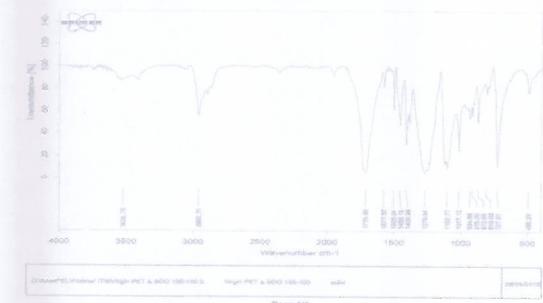
Kosentrasi PET waste: Butanediol	Titik Leleh (°C)	Kosentrasi PET Virgin : Butanediol	Titik Leleh (°C)
80 : 100	221,5	80 : 100	221
90 : 100	216	90 : 100	221,5
100 : 100	215	100 : 100	215,5
110 : 100	222	110 : 100	220
120 : 100	221	120 : 100	220,5



Gambar 3. Hasil analisa FTIR dari bahan PET waste

Gambar 3 diatas contoh gambaran spektrum sampel produk PBT dari hasil analisa FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) yang diuji. Struktur kimia dan bentuk ikatan molekul serta gugus fungsional tertentu menjadi dasar bentuk spektrum yang diperoleh dari hasil analisa.

Penentuan struktur ini dilakukan dengan melihat plot spektrum IR yang terdeteksi oleh alat. Spektrum ini menyatakan jumlah radiasi IR yang diteruskan melalui cuplikan sebagai fungsi bilangan gelombang. Absorpsi gugus OH adalah pada bil gelombang 3200-3600  $\text{cm}^{-1}$  Untuk ikatan rangkap gugus C=O pada 1710  $\text{cm}^{-1}$ .



Gambar 4. Hasil analisa FTIR dari bahan PET virgin

Gambar diatas adalah contoh hasil analisa FTIR dari proses pembuatan antara PET virgin dengan butanediol dan PET waste dengan butanediol.

Hasil analisa FTIR yang dilakukan dari 6 contoh, diinterpretasikan bahwa telah terjadi peak baru pada panjang gelombang( $\text{cm}^{-1}$ ): 1715,67; 1715,84; 1713,78; 1714,68; 1713,98; dan 1715,80 yang menunjukkan adanya gugus karbonil (C=O) dari PBT dan gugus -OH yang masih ada yang berasal dari butanediol pada panjang gelombang ( $\text{cm}^{-1}$ ) : 3522,82; 3526,44; 3411,58; 3412,07; 3411,76 dan 3526,75.

Gugus yang timbul merupakan interpretasi gugus seperti dalam literatur.

**Analisis Ekonomi**

Data yang disajikan adalah data hasil produk skala laboratorium. Pada penelitian, bahan baku yang digunakan adalah bahan lokal. Asumsi perhitungan analisis pada modal tetap, biaya tetap, biaya tidak tetap, biaya pemeliharaan, biaya umum, biaya pengawasan mutu dan promosi, biaya tak terduga dan gaji dianggap sama, yang dihitung adalah perbandingan jika digunakan bahan import dan bahan lokal,

maka efisiensi perhitungan ekonomi dapat dihitung. Jadi semuanya sama kecuali pada modal kerja dengan bahan baku yang berbeda biayanya. Harga PBT impor: \$3,16/lb = \$6,96/kg. Untuk basis 100kg = \$696. Harga PET \$0,56/lb = \$1,23/kg. Harga PET \$0,25/lb = \$0,55/kg. Dengan perhitungan basis 100kg produk PBT dan tambahan lain pada proses percobaan dapat dihitung sebagai berikut:

Modal Kerja	Nilai(\$)	Nilai(\$)
Bahan baku PET Virgin	135,30	-
110kg @\$1,23		
Bahan baku PET Waste	-	61,6
110kg @\$0,56		
Bahan Butanediol 80kg@ \$3,2	256,0	256,0
Bahan katalis 200 ml	30,0	30,0
Total	421,3	347,6

Efisiensi biaya dengan menggunakan bahan lokal adalah:  $696,00 - 421,30 = 274,70$  atau  $39,46\%$ . Dengan menggunakan PET waste efisiensi biaya adalah:  $696,0 - 347,6 = 348,4$  atau  $50,06\%$ . Dengan perhitungan skala pabrik tentu lebih efisien lagi.

**KESIMPULAN DAN SARAN**

1. Telah dilakukan proses pembuatan *Poly Buthylene Therephthalate* (PBT) dengan memanfaatkan bahan baku lokal *Poly Ethylene Therephthalate* (PET) waste atau PET virgin dengan pelarut 1.4 Butanediol (BDO).
2. Hasil uji produk PBT diperoleh titik leleh antara  $215^{\circ}\text{C}$  s/d  $222^{\circ}\text{C}$ , analisa densitas antara  $1,3285$  s/d  $1,3427\text{g/cm}^3$ , analisa FTIR sudah sesuai sifat PBT dan analisa glowire memenuhi syarat SNI 04-6504-2001.
3. Dengan Hasil analisa dengan parameter diatas sudah memenuhi persyaratan untuk produk PBT. Dengan meningkatkan

penggunaan bahan baku lokal, dapat mengurangi bahan import yang selama ini dilakukan.

4. Dari perhitungan ekonomi, efisiensi dengan menggunakan bahan local PET virgin dan PET waste berturut-turut adalah adalah 39,46% dan 50,06%.
5. Perlu dilakukan percobaan lanjutan dengan perlakuan zat additive untuk meningkatkan mutu fisik produk dan uji NMR untuk analisa struktur molekul.
6. Perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk penerapan dilapangan pembuatan Cap lampu.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Kepada Bapak Kepala Balai Industri Surabaya dan staf serta Bapak Kepala Laboratorium Teknologi Material dan staf Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya yang telah membantu dalam penelitian dan dalam pembuatan alat proses penelitian.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 1992, *The International Journal for the Science and Technology of Polymers*, vol 33 no.22.
- Herman F.Mark, 2004, *Encyclopedia of Polymer Science and Engineering*, second edition, vol 12.
- John W.Nicholson, 2006, *The Chemistry of Polymers*, 3 rd edition, RSC Publishing
- Kazuhiko Fukatsu, 1992, *Mechanical properties of PET Fibers Impacted Hydrophilicity with Aminolysis*, Faculty of Living Science, Kumamoto, Javan
- Karas, L, W.J, 2004, *Butanediol*, Kirk Othmer Encyclopedia of Chemical Technology New York, John Wiley.
- Ludwig Boftenbruch, Siegfried,1996, *Engineering Thermoplastics: Polycarbonates, Polyacetals,*

*Polyesters, Ceellulose ester, Hanser verlag.*

Peacock, A.J, 2000. *Hand Book of Polyethylene Structures, Properties, and Applications*, Marcel Dekker, Inc.

*Polymer Engineering and science*.www.interscience.wiley.com, 2008

*Polymer Technology and services* <http://www.matweb.com>

Rahardjo, 2005, *Potensi Industri Barang-Barang Plastik*, Makalah pada kegiatan Workshop Peningkatan Teknologi Pengolahan Limbah Plastik di Surabaya.

Sunggu Anwar, 2008 *Program 51 juta Lampu Hemat Energi PT. PLN*

Sastrohamidjojo, Hardjono, 2001, *Spektrokopi*, Yogyakarta, Liberti.

Ullmanns, *Encyclopedia of industrial Chemistry*, vol A21.

[Wikipedia.org/wiki/1.4 Butanediol](http://Wikipedia.org/wiki/1.4_Butanediol).

[Wikipedia.org/wiki/Polybutylen terephthalate](http://Wikipedia.org/wiki/Polybutylen_terephthalate) , Polimer, 2008

Zehep Tadmor, Costas G.Gogos, 2006, *Principles of Polymer Processing*, 2 nd edition.