

PERAN PEG 400 DALAM PEMBUATAN LEMBARAN BIOPLASTIK POLIHIDROKSIALKANOAT YANG DIHASILKAN OLEH *Ralstonia eutropha* DARI SUBSTRAT HIDROLISAT PATI SAGU

Khaswar Syamsu¹⁾, Liesbetini Hartoto¹⁾, Anas Miftah Fauzi¹⁾, Ani Suryani¹⁾, Dede Rais¹⁾

ABSTRACT

THE ROLES OF PEG 400 IN THE PRODUCTION OF BIOPLASTIC POLYHYDROXYALKANOATES PRODUCED BY *Ralstonia Eutropha* FROM HYDROLYSED SAGO STARCH SUBSTRATE

The purpose of the research was to investigate the effects of PEG 400 addition on the characteristics of bioplastic polyhydroxyalkanoates (PHA). PHA was obtained by cultivating *Ralstonia eutropha* on hydrolysed sago starch substrate using fed batch method for approximately 96 hours. The biomass concentration obtained was 4 g/L with PHA yield 20-30% of dry cell weight. The bioplastic was formed with solution casting method in which chloroform was used as solvent and PEG 400 was used as plasticizer. The concentrations of PEG 400 added were 10, 20, and 30% (w/w), respectively. Bioplastic properties which were tested were tensile strength, elongation to break, density, thermal properties, cristalinity, and functional group. The addition of plastisizer tend to increase tensile strength and elongation to break, but decrease density, cristalinity and melting point. Bioplastic with 30% PEG 400 addition gave the best results. Bioplastic with 30% PEG 400 gave a value of tensile strength of 0.083 MPa; elongation to break of 0.881%; density of 0.7881 g/cm³; melting point of 158.95 °C; and cristalinity of 44.58%. With these properties, the resulted bioplastic may be used for surgical strings.

Keywords: Bioplastic, Polyhydroxyalkanoates (PHA), *Ralstonia eutropha*, hidrolised sago starch, PEG 400 plastisizer.

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah untuk meneliti pengaruh penambahan PEG400 pada ciri bioplastik polihidroksialkanoat (PHA). PHA diperoleh dengan mengkultivasi *Ralstonia eutropha* pada substrat hidrolisat pati sagu menggunakan metode *fed batch* selama 96 jam. Konsentrasi biomassa yang diperoleh adalah 4 g/L dengan rendemen PHA 20-30% dari bobot kering sel. Bioplastik diproduksi dengan metode *solution casting* menggunakan kloroform sebagai pelarut dan PEG 400 sebagai pemlastis. Konsentrasi PEG 400 yang ditambahkan adalah 10, 20, dan 30% (b/b). Ciri bioplastik yang diuji adalah kuat tarik, perpanjangan putus, densitas, sifat termal, kristalinitas dan analisis gugus fungsi. Penambahan pemlastis PEG400 meningkatkan kuat tarik, dan perpanjangan putus, tapi menurunkan densitas, kristalinitas, dan suhu leleh. Bioplastik dengan konsentrasi PEG 400 30% memberikan hasil terbaik, yaitu dengan nilai kuat tarik 0.083 MPa,

perpanjangan putus 0.881%, densitas 0.7881 g/cm³, titik leleh 158.95 °C, dan kristalinitas 44.58%. Dengan ciri ini bioplastik yang dihasilkan dapat digunakan untuk benang bedah.

Kata kunci: Bioplastik, Polihidroksialkanoat, PHA, *Ralstonia eutropha*, hidrolisat pati sagu, PEG 400

PENDAHULUAN

Secara umum perkembangan industri polimer telah memberikan banyak keuntungan bagi kehidupan manusia. Dampak negatif kemudian muncul pada saat produk tersebut sudah tidak terpakai lagi dan kemudian dibuang begitu saja ke lingkungan. Penguraian produk polimer tersebut memerlukan waktu yang sangat lama oleh mikroba menjadi molekul yang lebih sederhana.

Polimer alami dapat menggantikan kegunaan polimer sintetik dengan beberapa modifikasi kimia maupun fisik untuk memperbaiki sifat-sifatnya dan

1) Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor dan Pusat Penelitian Sumberdaya Hayati & Bioteknologi Institut Pertanian Bogor. Email: khaswars@yahoo.com

dapat didegradasi bila dibuang ke lingkungan. Salah satu bahan polimer alami hasil kultivasi yang memiliki prospek untuk dikembangkan lebih lanjut adalah dari golongan poli- β -hidroksialkanoat (PHA). PHA memiliki kemiripan sifat dengan polipropilena, terutama pada sifat kuat tariknya. Senyawa polimer ini termasuk ke dalam golongan poliester alami yang dapat diproduksi oleh mikroba tertentu. Salah satu mikroba yang dapat menghasilkan PHA adalah bakteri *Ralstonia eutropha* (Lafferty *et al.* 1988).

Penggunaan PHA sebagai bahan baku plastik masih memiliki beberapa kekurangan, seperti mahalnnya biaya produksi dan proses hilir untuk memurnikan PHA, serta mutu bioplastik PHA yang masih di bawah plastik dengan bahan baku petrokimia. Hidrolisat pati sagu dapat dimanfaatkan sebagai media kultivasi untuk menurunkan biaya produksi (Syamsu *et al.* 2006a). Sifat bioplastik PHA yang kaku dan rapuh dapat dikurangi dengan penambahan pemlastis.

Poli-etilena glikol (PEG) biasa digunakan sebagai pengemulsi, pelembap, pemlastis, dan pelumas pada industri tekstil. PEG sebagai pemlastis memiliki beberapa kelebihan seperti tidak beracun, tidak berbau, tidak mengiritasi kulit, dan tidak mudah menguap (Anonim 2006). Tujuan penelitian ini adalah melihat pengaruh penambahan pemlastis PEG 400 pada ciri bioplastik PHA dan mendapatkan konsentrasi PEG 400 terbaik sebagai pemlastis dalam pembuatan bioplastik PHA.

METODE

Bahan dan Alat

Bahan-bahan tahap persiapan bahan baku terdiri atas hidrolisat pati sagu, enzim α -amilase dan amiloglukosidase (Novozyme), galur bakteri *Ralstonia eutropha* IAM 12368 (IAM Culture Collection, Institute of Molecular and Cellular Biosciences, The University of Tokyo; dan unsur-unsur mikro. Larutan unsur mikro (dalam g/L HCl 1 N) terdiri atas 2,78 g $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 1,98 g $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 2,81 g $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 1,67 g $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 0,17 g $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, dan 0,29 g $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Bahan-bahan penelitian utama terdiri atas polimer PHA (hasil tahap persiapan bahan baku), klorofom (Merck), dan PEG 400 (Merck).

Peralatan yang digunakan terdiri atas bioreaktor volume kerja 10 liter dan peralatan untuk pencirian

bioplastik yang dihasilkan, yaitu Universal Testing Machine (UTM) Shimadzu AGS-10KNG, Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectrophotometer ATI Mattson, dan Differential Scanning Calorimeter (DSC) Mettler Toledo.

Persiapan Bahan Baku

Tahap persiapan bahan baku bertujuan mendapatkan polimer PHA yang nantinya akan digunakan pada penelitian utama (pembuatan bioplastik). Persiapan bahan baku terdiri atas pembuatan hidrolisat pati sagu, kultivasi *Ralstonia eutropha*, dan proses hilir.

Pembuatan Hidrolisat Pati Sagu (Akyuni 2004)

Pati sagu disuspensikan ke dalam air dengan konsentrasi 30% (b/v). CaCO_3 ditambahkan ke dalam suspensi dan pH dibuat menjadi 6-6,5. Setelah itu suspensi dipanaskan sampai tergelatinisasi untuk kemudian ditambahkan enzim α -amilase dan dipanaskan kembali 210 menit. Setelah itu pH suspensi dibuat menjadi 4-4,5 untuk kemudian ditambahkan enzim AMG (amiloglukosidase) dan disakarifikasi selama 48 jam. Untuk menjernihkan, hidrolisat pati sagu disaring dengan menggunakan kertas saring.

Kultivasi (Syamsu *et al.* 2006a)

Bakteri *R. eutropha* dikultivasi selama 96 jam dalam bioreaktor 10 L dengan komposisi per liter media: total gula 30 g; K_2HPO_4 5,8 g; KH_2PO_4 3,8 g; MgSO_4 0,1 M 10 mL; $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 5,66 g; dan mikro-elemen 1 mL. Pengumpanan dilakukan pada jam ke-48 dengan hidrolisat pati sagu sebanyak kurang lebih 689 mL.

Proses Hilir (Lee 1996)

Cairan hasil kultivasi disentrifus dengan laju 13.000 rpm. Endapannya dibilas dengan akuades kemudian disentrifus kembali. Endapan yang diperoleh kemudian dilarutkan dalam NaOCl 0,2% selama 1 jam. Setelah itu larutan disentrifus dan endapan yang didapat dilarutkan dalam metanol. Kemudian larutan disentrifus kembali dan endapan yang diperoleh dikeringkan dalam oven 50°C selama 24 jam.

PHA kering kemudian dihaluskan dengan mortar dan dilarutkan ke dalam klorofom 1:50 (b/v). Campuran dipanaskan pada suhu 50 °C selama 20 jam, kemudian disaring dengan kertas saring Whatman 42

dan cairan yang lolos dibiarkan kering sampai terbentuk lembaran bioplastik.

Pembuatan Bioplastik (Syamsu *et al.* 2006b)

Lembaran film bioplastik dibuat dengan mencampurkan PHA, pelarut kloroform, dan pemlastis PEG 400. Larutan PHA-kloroform diaduk selama 1 jam dengan menggunakan pengaduk magnetik pada suhu 50 °C dan menggunakan pendingin tegak. Setelah 1 jam, ke dalam larutan tersebut dimasukkan PEG 400 dengan konsentrasi tertentu sesuai yang akan diujikan. Larutan PHA, kloroform dan PEG 400 diaduk kembali pada kondisi yang sama selama 0,5 jam. Kemudian larutan dituang ke dalam cetakan kaca dan dibiarkan dalam suhu ruang sampai kloroform menguap semua dan terbentuk lembaran plastik.

Pencirian Bioplastik

Kuat Tarik dan Perpanjangan Putus (ASTM D882-97 1998)

Sampel yang berbentuk lembaran dipotong dengan panjang 130 mm dan lebar 5 mm. Pengujian dilakukan dengan alat Universal Testing Machine (UTM) pada kecepatan tarikan 120 mm/menit.

Densitas (Rabek 1983)

Sampel dibentuk segi empat, kemudian diukur panjang, lebar, tebal, dan bobotnya. Densitas diperoleh dari pembagian bobot sampel (g) dengan volumenya (cm³).

Sifat Termal (ASTM D3418-99 1998)

Sampel sekitar 20 mg dimasukkan dalam krus 40 µl. Analisis dilakukan dengan pemanasan sampel dari suhu -90 °C hingga 200 °C. Laju pemanasan adalah 10°C/menit. Analisis sifat termal meliputi suhu leleh (T_m), suhu transisi kaca (T_g), dan perubahan entalpi sampel selama proses tersebut.

Derajat Kristalinitas (Hahn *et al.* 1994)

Kristalinitas PHB sampel dihitung dengan menggunakan rumus:

$$X_c = \Delta H_f / \Delta H_0 \times 100\%$$

Keterangan:

X_c = kristalinitas (%),

ΔH_f = entalpi pelelehan sampel (J/g),

ΔH_0 = entalpi pelelehan PHB 100% kristalin (146 J/g).

HASIL DAN PEMBAHASAN

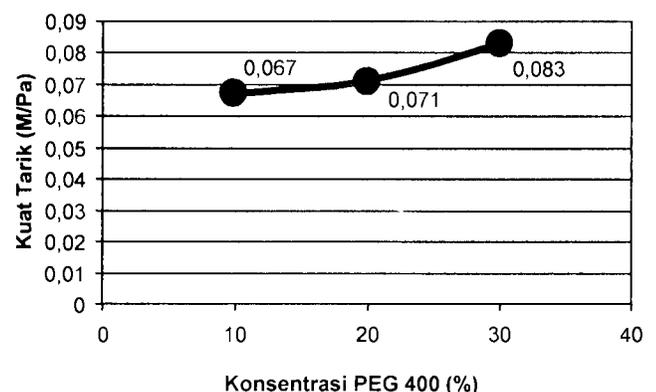
Produk *R. eutropha*

Hidrolisat pati sagu yang dibuat dengan cara enzimatis memiliki total gula sebesar 281 g/L. Hidrolisat pati sagu ini digunakan sebagai media kultivasi terutama sebagai sumber karbon. Biomassa sel yang didapatkan setelah proses pemanenan sebanyak 4 g/L cairan kultivasi. Rendemen PHA yang diperoleh setelah proses pemurnian dengan kloroform berkisar antara 20 dan 30% dari bobot biomassa sel kering.

Dari hasil analisis FTIR yang dilakukan oleh Atifah (2006) diketahui bahwa bakteri *R. eutropha* dapat menghasilkan PHA terutama jenis poli-3-hidroksibutirat (PHB). Ciri khas poli-HB adalah adanya gugus metil (CH₃) yang terdeteksi pada bilangan gelombang 1375-1450 cm⁻¹ (Nur 1989).

Kuat Tarik dan Perpanjangan Putus

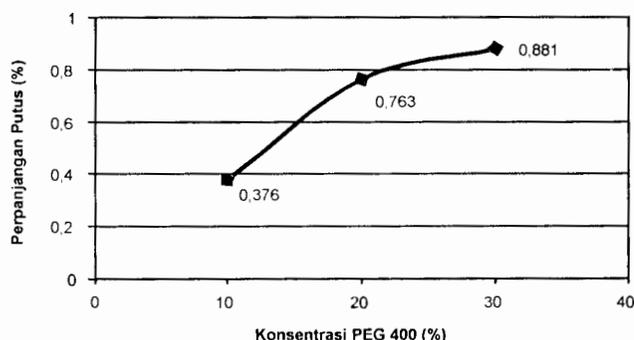
Nilai kuat tarik dari bioplastik yang dihasilkan terlihat meningkat dengan bertambahnya konsentrasi pemlastis. Nilai kuat tarik untuk bioplastik PEG 400 10, 20, dan 30% berturut-turut adalah 0,067; 0,071; dan 0,083 Mpa (Gambar 1). Peningkatan nilai kuat tarik ini terjadi diduga karena adanya interaksi antara molekul PHB dan molekul PEG 400.



Gambar 1 Hubungan antara konsentrasi PEG 400 dan kuat tarik

Interaksi antara molekul PHB dan PEG 400 diduga berupa ikatan hidrogen. Pendugaan tersebut didasarkan atas gugus fungsional dari molekul masing-masing. Molekul PEG memiliki gugus fungsi hidroksil (OH) sedangkan molekul PHB memiliki gugus fungsi hidroksil (OH) dan karboksil (C=O).

Ikatan hidrogen terjadi antara atom hidrogen dengan atom yang memiliki elektronegativitas tinggi seperti N, O, dan F. Tidak seperti gaya van der Waals lainnya, ikatan hidrogen membentuk arah tertentu. Ikatan hidrogen bersifat elektrostatik dan dapat terjadi antarmolekul maupun intramolekul (Companion 1991). Dari pengukuran nilai kuat tarik juga dapat secara langsung didapatkan nilai perpanjangan putus dari bioplastik yang diuji (Gambar 2).



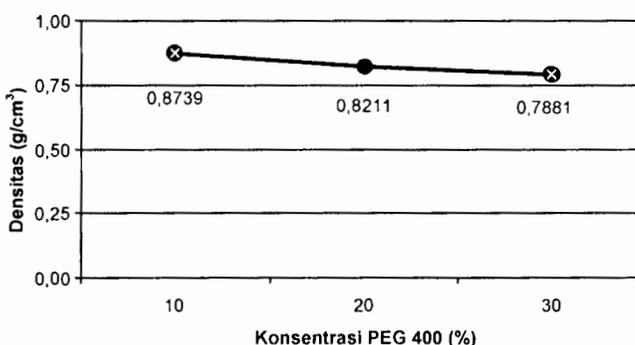
Gambar 2 Hubungan antara konsentrasi PEG 400 dan perpanjangan putus

Perpanjangan putus merupakan perubahan panjang material sampai material tersebut putus akibat menerima gaya regangan pada pengujian kuat tarik. Menurut Hammer (1978), prinsip kerja pemlastis adalah membentuk interaksi molekuler dengan rantai polimer sehingga kecepatan respons viskoelastis pada polimer meningkat dan mobilitas molekuler rantai polimer meningkat pula. Peningkatan konsentrasi PEG 400 dapat meningkatkan nilai perpanjangan putus dari bioplastik PHB. Bioplastik dengan PEG 400 10% memiliki nilai perpanjangan putus sebesar 0,376%; dan jika kadarnya dilipatduakan maka perpanjangan putusnya juga meningkat dua kali. Dari perlakuan yang dicobakan, bioplastik dengan penambahan PEG 400 30% memiliki nilai perpanjangan putus terbesar, yaitu 0,881%.

Peningkatan konsentrasi PEG 400 berarti pula meningkatkan jumlah partikel PEG yang dapat berinteraksi dengan polimer PHB. Keberadaan molekul PEG yang lebih merata diduga menyebabkan mobilitas polimer PHB menjadi lebih tinggi dan meningkatkan kecepatan viskoelastis polimer apabila menerima gaya dari luar sehingga nilai perpanjangan putusnya semakin meningkat.

Densitas

Hasil pengukuran densitas bioplastik dapat dilihat pada Gambar 3. Penambahan pemlastis menyebabkan nilai densitas bioplastik yang dihasilkan semakin menurun. Bioplastik PEG 400 10% memiliki densitas sebesar $0,8739 \text{ g/cm}^3$, bioplastik PEG 400 20% memiliki densitas sebesar $0,8211 \text{ g/cm}^3$, dan bioplastik PEG 400 30% memiliki densitas sebesar $0,7881 \text{ g/cm}^3$.



Gambar 3 Hubungan antara konsentrasi PEG 400 dan densitas

Menurut Lafferty *et al.* (1988), poli-HB memiliki densitas antara $1,171$ dan $1,260 \text{ g/cm}^3$. Nilai yang lebih kecil menunjukkan struktur amorf sedangkan nilai densitas yang lebih tinggi menunjukkan struktur kristalin. Mengacu pada pernyataan tersebut, maka kemungkinan besar bioplastik PHB pada penelitian ini didominasi oleh amorf.

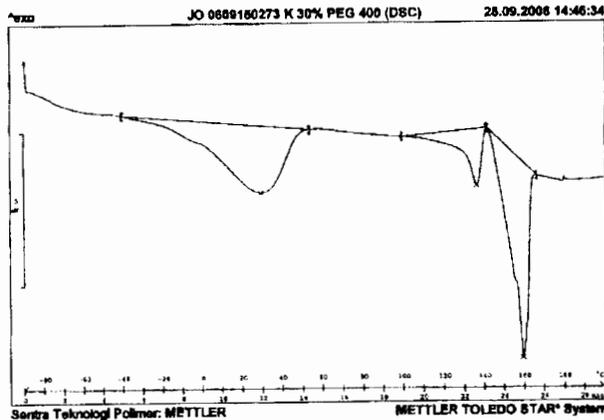
Penurunan densitas bioplastik akibat peningkatan konsentrasi pemlastis diduga karena molekul pemlastis dapat meningkatkan mobilitas molekul polimer dan membuat polimer menjadi lebih amorf. Struktur molekul amorf memiliki kerapatan yang lebih rendah daripada molekul kristalin. Penurunan kerapatan molekul menyebabkan densitas dari molekul tersebut menjadi lebih rendah.

Pengujian ciri berikutnya hanya dilakukan pada bioplastik dengan sifat mekanik terbaik. Dari pengujian kuat tarik dan perpanjangan putus ditetapkan bahwa bioplastik terbaik adalah bioplastik dengan konsentrasi PEG 400 30%.

Sifat Termal

Pada kurva DSC dari bioplastik dengan konsentrasi PEG 400 30% terlihat adanya 3 buah

puncak (Gambar 4). Pertama pada suhu 29,41 °C berupa lembah lebar dan dangkal, kedua pada suhu 136,37 °C berupa lembah sempit dan dangkal, dan yang ketiga pada suhu 158,95 °C berupa lembah sempit dan panjang.



Gambar 4 Kurva DSC bioplastik PEG 400 30%

Titik leleh pertama yang terdeteksi pada suhu 29,41°C diduga merupakan energi yang dibutuhkan untuk melepaskan interaksi antara molekul PHB dan PEG, yaitu ikatan hidrogen antara kedua jenis molekul tersebut. Jumlah energi yang diserap adalah 86,63 J/g; cukup tinggi untuk memutuskan semua ikatan hidrogen yang ada. Menurut Companion (1991) ikatan hidrogen memiliki energi antara 0,4 dan 40 kJ/mol.

Titik leleh kedua, yaitu pada 136,37 °C merupakan titik leleh komponen lain dalam bioplastik, dapat berupa golongan PHA lain ataupun komponen pengotor bioplastik. Titik suhu ketiga pada 158,95°C merupakan titik leleh komponen utama dalam bioplastik, yaitu molekul poli-HB. Nilainya lebih rendah daripada titik leleh poli-HB tanpa pemlastis yang diteliti oleh Juari (2006), yaitu pada suhu 168,72 °C.

Derajat Kristalinitas

Derajat kristalinitas dari bioplastik dianalisis dengan pendekatan perubahan entalpi pada saat bioplastik mengalami pelelehan. Menurut Hahn *et al.* (1994), PHA dengan derajat kristalinitas 100% akan mempunyai perubahan entalpi sebesar 146 J/g pada saat mengalami pelelehan.

Pada kurva DSC (Gambar 4) diketahui bahwa perubahan entalpi bioplastik PHB dengan konsentrasi

PEG 400 30% adalah sebesar 65,09 J/g pada saat pelelehan, lebih kecil daripada bioplastik PHB tanpa pemlastis (Juari 2006), yaitu sebesar 73,76 J/g. Dengan metode perbandingan langsung antara perubahan entalpi bioplastik sampel dan PHA 100% kristalin, dapat diperoleh nilai derajat kristalinitas sampel. Bioplastik PHB tanpa pemlastis (Juari 2006) mempunyai derajat kristalinitas sebesar 50,52%, sedangkan bioplastik PEG 400 30% memiliki derajat kristalinitas sebesar 44,58%.

Pemlastis mengisi rongga-rongga antarpolimer dan berfungsi sebagai pelumas internal. Keberadaan pemlastis akan mengubah gaya antarmolekul polimer sehingga mobilitasnya meningkat. Dengan meningkatnya mobilitas molekul polimer, polimer akan menjadi lebih amorf.

KESIMPULAN

Bakteri *R.* menghasilkan poli-3-hidroksialkanoat (PHA) terutama jenis poli-HB dengan kultivasi secara terumpan (*fed batch*) selama 96 jam. Konsentrasi biomassa didapatkan sebesar 4 g/L dan rendemen PHB setelah pemurnian berkisar antara 20 dan 30% dari bobot biomassa sel kering.

Densitas bioplastik cenderung menurun dengan peningkatan konsentrasi pemlastis yang digunakan. Bioplastik PEG 400 10% memiliki densitas sebesar 0,8739 g/cm³; sedangkan bioplastik PEG 400 20% dan PEG 400 30% berturut-turut sebesar 0,8211 g/cm³; dan 0,7881 g/cm³.

Kuat tarik bioplastik meningkat dengan penambahan konsentrasi pemlastis. Nilai kuat tarik bioplastik dengan konsentrasi PEG 400 10, 20, dan 30% berturut-turut adalah 0,067; 0,071; dan 0,083 MPa. Persentase perpanjangan putus bioplastik PEG 400 10% sebesar 0,376%. Persentase perpanjangan putus kemudian meningkat pada bioplastik PEG 400 20%, yaitu menjadi 0,763% dan pada bioplastik PEG 400 30% menjadi 0,881%. Dari analisis kuat tarik dan perpanjangan putus, ditetapkan bioplastik terbaik adalah bioplastik PEG 400 30%, yaitu bioplastik dengan perpanjangan putus terbesar (0,881%).

Bioplastik PHB dengan konsentrasi PEG 400 30% memiliki titik leleh pada suhu 158,95 °C dan kristalinitas sebesar 44,58%. Dari hasil analisis FTIR diketahui bahwa pada bioplastik terdapat gugus-

gugus fungsi yang mencirikan molekul poli-HB dan interaksi antara poli-HB dengan PEG 400 merupakan ikatan hidrogen.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kantor Menteri Negara Riset dan Teknologi atas dukungan dana penelitian melalui Riset Unggulan Terpadu XII tahun 2005-2006.

DAFTAR PUSTAKA

- Akyuni D. 2004. Pemanfaatan Pati Sagu (*Metroxylon* sp.) Untuk Pembuatan Sirup Glukosa Menggunakan α -Amilase dan Amiloglukosidase [skripsi]. Bogor: Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
- Anonim. 2006. Polyethylene Glycol. <http://www.chemicaland21.com> [15 Juni 2006]
- ASTM D 3418-99. 1998. Standard Test Method For Transition Temperatures of Polymers by Differential Scanning Calorimetry. West Conshohocken, PA.
- ASTM D 882-97. 1998. Standard Test Method For Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting. West Conshohocken, PA
- Atifah N. 2006. Pemanfaatan Hidrolisat Pati Sagu sebagai Sumber Karbon Pada Produksi Bioplastik Polihidroksialkanoat secara *Fed-Batch* oleh *Ralstonia eutropha* [tesis]. Bogor: Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Companion A.L. 1991. *Ikatan Kimia*. Edisi ke 2. Terjemahan S. Achmadi. Bandung: Penerbit ITB.
- Hahn SK, Chang YK, Lee SY. 1994. Recovery and Characterization of Poly(3-Hydroxybutyric Acid) Synthesized in *Alcaligenes eutrophus* and Recombinant *Escherichia coli*. *App Env Microbiol*, 61:34-39
- Hammer CF. 1978. *Polymer Blends*. New York: Academic Pr.
- Juari. 2006. Teknologi Proses Pembuatan dan Karakterisasi Bioplastik dari Poly-3-Hidroksialkanoat (PHA) yang Dihasilkan oleh *Ralstonia Eutropha* pada Sirup Glukosa Pati Sagu dengan Penambahan Dimetil Phtalat (DMP) sebagai Pemlastis [skripsi]. Bogor, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
- Lafferty RM, Korsatko B, Korsatko W. 1988. Microbial Production of Poly- β -hydroxybutyric Acid. Di dalam *Biotechnology. Special Microbial Processes* Vol. 6b., Rehm HJ dan Reed G, editor. New York: VCH.
- Lee SY. 1996. Bacterial Polyhydroxyalkanoates. *Biotechnol Bioeng* 49:1-14
- Nur MA. (1989). *Spektroskopi*. Bogor: Pusat Antar-Universitas, Institut Pertanian Bogor.
- Rabek JF. 1983. *Experimental Methods in Polymer Chemistry, Physical Principles and Applications*. New York: Wiley-Interscience.
- Syamsu K, Fauzi AM, Hartoto L, Suryani A, Atifah N. 2006a. Production of PHA (Polyhydroxy Alkanoates) by *Ralstonia eutropha* on Hydrolysed Sago Starch as Main Substrate using Fed-Batch Cultivation Method. *Proceedings of the 1st International Conference on Natural Resources Engineering and Technology (INRET) 2006*. Putra Jaya-Malaysia, 24-25 Juli 2006. hlm 153-157.
- Syamsu K, Fauzi AM, Suryani A, Hartoto L, Atifah N, Juari. 2006b. Kajian Pengaruh Penambahan Dimetil Phtalat (DMP) terhadap Karakteristik Bioplastik dari Poly-3-Hidroksi-alkanoat (PHA) Hasil Kultivasi *Ralstonia eutropha* pada Hidrolisat Pati Sagu. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian* 16 (2):51-57.