

---

Agustus 2008

## **JURNAL TEKNOLOGI PERTANIAN**

UNIVERSITAS MULAWARMAN

### **Penelitian**

Pengaruh Penambahan Pemplastis (Polietilen Glikol 400, Dietilen Glikol, Dan Dimetil Ftalat) Terhadap Proses Biodegradasi Bioplastik Poli-B-Hidroksialkanoat Pada Media Cair dengan Udara Terlimitasi (*The Effects of Plastisizer Additions (Polyethylene Glycol 400, Diethylene Glycol, and Dimethyl Phtalate) on the Biodegradation Process of Bioplastic Poly- $\beta$ -Hydroxyalkanoates in Liquid Media with Limited Air*) **Khaswar Syamsu, Krisnani Setyowati, Arban A. Khoiri**

Pengaruh Pentagamavunon-0 (Curcumin Analog) Terhadap Penerimaan Uterus (*Effect of Pentagamavunon-0 (Curcumin Analog) on Uterus Receptivity*) **Sri Hastati, Novida Ariani**

Karakterisasi Perekat Siklo Karet Alam (*Adhesive Characterization of Natural Rubber Cyclo*) **Nurul Puspita Palupi, Illah Sailah, Yoharmus Syamsu, Chilwan Pandji**

Kajian Mutu Kimiawi Bakso Asap Dari Udang Putih (*Penaeus merguensis*) pada berbagai Variasi Konsentrasi dan Waktu Perendaman dalam Asap Cair (*Chemical Quality Study of Smoked White Shrimp Ball on Various Concentrations and Soaking Time in Liquid Smoked*) **Indrati Kusumaningrum, Doddy Sutono**

Produksi Lipase Ekstraseluler Dari *Rhizopus Oligosporus* RG2 Menggunakan Media Cair Mengandung Bungkil Wijen (*Production of Extracellular Lipase from Rhizopus oligosporus RG2 in Liquid State Fermentation of Sesame Seed Press-Cake Containing Media*) **Yuliani**

Pengaruh Proporsi Beras Pecah Kulit, Kacang Tunggak, dan Jagung terhadap Mutu Sereal Mengembang (*Puffed*) yang Dihasilkan (*Influence of Proportion of Germinated Rice Shell, Pea, and Corn on Cereal Puffed Quality*) **Deny Sumarna**

---

# **JTP**

## **JURNAL TEKNOLOGI PERTANIAN**

### **PENERBIT**

Program Studi Teknologi Hasil Pertanian  
Jurusan Budidaya Pertanian Fakultas Pertanian  
Universitas Mulawarman  
Jl. Tanah Grogot Kampus Gunung Kelua  
Samarinda

### **PELINDUNG**

Juremi Gani

### **PENANGGUNG JAWAB**

Alexander Mirza

### **KETUA EDITOR**

Krishna Purnawan Candra (THP-UNMUL Samarinda)

### **EDITOR**

Dahrulsyah (TPG-IPB Bogor)  
Meika Syahbana Roesli (TIN-IPB Bogor)  
Muhammad Nurroufiq (BPTP-Samarinda)  
Neni Suswatini (THP-UNMUL Samarinda)  
Sulistyo Prabowo (THP-UNMUL Samarinda)  
Hudaida Syahrumsyah (THP-UNMUL Samarinda)

### **EDITOR PELAKSANA**

Hadi Suprpto  
Sukmiyati Agustin, Anton Rahmadi

### **ALAMAT REDAKSI**

Program Studi Teknologi Hasil Pertanian  
Fakultas Pertanian  
Universitas Mulawarman  
Jalan Tanah Grogot Kampus Gunung Kelua  
Samarinda 75123  
Telp 0541-749159  
e-mail: JTP\_unmul@yahoo.com

# JURNAL TEKNOLOGI PERTANIAN

## UNIVERSITAS MULAWARMAN

Volume 4 Nomor 1  
Agustus 2008

Halaman

### Penelitian

- Pengaruh Penambahan Pemlastis (Polietilen Glikol 400, Dietilen Glikol, Dan Dimetil Ftalat) Terhadap Proses Biodegradasi Bioplastik Poli-B-Hidroksialkanoat Pada Media Cair dengan Udara Terlimitasi (*The Effects of Plastisizer Additions (Polyethylene Glycol 400, Diethylene Glycol, and Dimethyl Phtalate) on the Biodegradation Process of Bioplastic Poly-β-Hydroxyalkanoates in Liquid Media with Limited Air*) **Khaswar Syamsu, Krisnani Setyowati, Arban A. Khoiri** ..... 1
- Pengaruh Pentagamavunon-0 (Curcumin Analog) Terhadap Penerimaan Uterus (*Effect of Pentagamavunon-0 (Curcumin Analog) on Uterus Receptivity*) **Sri Hastati, Novida Ariani** ..... 12
- Karakterisasi Perekat Siklo Karet Alam (*Adhesive Characterization of Natural Rubber Cyclo*) **Nurul Puspita Palupi, Illah Sailah, Yoharmus Syamsu, Chilwan Pandji** ..... 19
- Kajian Mutu Kimiawi Bakso Asap Dari Udang Putih (*Penaeus merguensis*) pada berbagai Variasi Konsentrasi dan Waktu Perendaman dalam Asap Cair (*Chemical Quality Study of Smoked White Shrimp Ball on Various Concentrations and Soaking Time in Liquid Smoked*) **Indrati Kusumaningrum, Doddy Sutono** ..... 25
- Produksi Lipase Ekstraseluler Dari *Rhizopus oligosporus* RG2 Menggunakan Media Cair Mengandung Bungkil Wijen (*Production of Extracellular Lipase from Rhizopus oligosporus RG2 in Liquid State Fermentation of Sesame Seed Press-Cake Containing Media*) **Yuliani** ..... 31
- Pengaruh Proporsi Beras Pecah Kulit, Kacang Tunggak, dan Jagung terhadap Mutu Sereal Mengembang (*Puffed*) yang Dihasilkan (*Influence of Proportion of Germinated Rice Shell, Pea, and Corn on Cereal Puffed Quality*) **Deny Sumarna** ..... 41
-

**PENGARUH PENAMBAHAN PEMLASTIS (POLIETILEN GLIKOL 400, DIETILEN GLIKOL, DAN DIMETIL FTALAT) TERHADAP PROSES BIODEGRADASI BIOPLASTIK POLI- $\beta$ -HIDROKSIALKANOAT PADA MEDIA CAIR DENGAN UDARA TERLIMITASI**

*The Effects of Plasticizer Additions (Polyethylene Glycol 400, Diethylene Glycol, and Dimethyl Phtalate) on the Biodegradation Process of Bioplastic Poly- $\beta$ -Hydroxyalkanoates in Liquid Media with Limited Air*

**Khaswar Syamsu, Krisnani Setyowati, Arban A. Khoiri**

*Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB dan Pusat Penelitian Sumberdaya Hayati dan Bioteknologi, IPB*

Received 15 March 2008 Accepted 5 Apr 2008

**ABSTRACT**

Poly- $\beta$ -hydroxyalkanoate is one of prospective biopolymers which is able to be degraded biologically. Poly- $\beta$ -hydroxyalkanoate, however, has a rigid and brittle characteristic. An addition of plasticizer may be needed to improve physical and mechanical properties of poly- $\beta$ -hydroxyalkanoate. As a biodegradable polymer, the addition of plasticizer may give an influence to the poly- $\beta$ -hydroxyalkanoates biodegradability. The purpose of this research is to investigate the effects of plasticizers (polyethilen glycol, diethylene glycol and dimethyl phtalate) additions on the biodegradability of bioplastic poly- $\beta$ -hydroxyalkanoate. The results show that the addition of plasticizers has a negative impact to the poly- $\beta$ -hydroxyalkanoates biodegradability. The biodegradability rate as indicated by CO<sub>2</sub> production rate and CO<sub>2</sub> accumulation of plasticized poly- $\beta$ -hydroxyalkanoates is lower than that of non-plasticized poly- $\beta$ -hydroxyalkanoates bioplastic. After 50 days, the non-plasticized poly- $\beta$ -hydroxyalkanoates bioplastic has the highest CO<sub>2</sub> production rate and CO<sub>2</sub> acumulation, namely 0,55 mg of CO<sub>2</sub>/day and 27.28 mg CO<sub>2</sub>, respectively. The poly- $\beta$ -hydroxyalkanoates bioplastic plasticized with polyethylene glycol 400 has the CO<sub>2</sub> production rate and CO<sub>2</sub> accumulation of 0.48 mg CO<sub>2</sub>/day and 23.76 mg CO<sub>2</sub>, respectively, followed by poly- $\beta$ -hydroxyalkanoates bioplastic plasticized with diethylene glycol with CO<sub>2</sub> production rate and CO<sub>2</sub> accumulation of 0.38 mg of CO<sub>2</sub>/day and 18.92 mg CO<sub>2</sub>, respectively. The poly- $\beta$ -hydroxyalkanoates bioplastic plasticized with dimethyl phthalate was the slowest to be degraded, with CO<sub>2</sub> production rate and CO<sub>2</sub> accumulation of 0.33 mg CO<sub>2</sub>/day and 16.72 mg CO<sub>2</sub>, respectively.

*Keywords: Biodegradation; Poly- $\beta$ -hydroxyalkanoates, Bioplastic; Plasticizers*

**PENDAHULUAN**

Saat ini, produksi dan konsumsi berbagai jenis polimer sintetis berbahan dasar minyak bumi di seluruh dunia telah mencapai 140 juta ton/tahun (Kim dan Rhee, 2003; Anonim<sup>a</sup>, 2006). Jumlah tersebut meningkat hingga 20 kali lipat jika dibandingkan dengan produksi polimer sintetis berbahan dasar minyak bumi pada dekade 1950. Sebagian besar polimer yang diproduksi dan dikonsumsi tersebut pada akhirnya akan menjadi limbah industri di lingkungan. Hal ini dikarenakan mayoritas

polimer sintetis yang diproduksi merupakan polimer yang memiliki ketahanan terhadap penguraian secara biologis. Hal tersebut disebabkan oleh bobot molekul yang sangat besar, jumlah cincin aromatik yang sangat tinggi, dan ikatan-ikatan yang kompleks. (Kim dan Rhee, 2003). Karena hal tersebut, maka akumulasi skala besar limbah plastik di lingkungan telah menimbulkan masalah polusi lingkungan yang tidak bisa disebut sebagai masalah ringan.

Solusi dari permasalahan ini dapat ditemukan pada polimer biodegradabel, suatu jenis polimer yang dapat terurai secara

biologis. Diantara berbagai jenis polimer biodegradabel, terdapat polimer yang dihasilkan oleh mikroorganisme dengan substrat yang diturunkan dari sumber daya yang dapat diperbaharui, seperti pati dan lemak, dan dapat terurai secara biologis pada tanah dan air. Poli- $\beta$ -hidroksialkanoat merupakan salah satu polimer yang dihasilkan oleh mikroorganisme sebagai cadangan makanan akibat adanya keterbatasan nutrisi. Salah satu jenis poli- $\beta$ -hidroksialkanoat adalah poli- $\beta$ -hidroksibutirat, yang termasuk ke dalam kelompok poli- $\beta$ -hidroksialkanoat rantai pendek (jumlah atom C berkisar 3 sampai 5 atom), dan memiliki sifat yang rapuh dan tidak elastis.

Untuk memperbaiki sifat dan karakter bioplastik poli- $\beta$ -hidroksialkanoat tersebut diperlukan penambahan bahan tertentu, seperti pemlastis. Juari (2006), Delvia (2006), dan Rais (2007), telah melakukan studi tentang pengaruh penambahan pemlastis polietilen glikol 400, dietilen glikol dan dimetil ftalat terhadap sifat fisik dan mekanis bioplastik poli- $\beta$ -hidroksialkanoat (poli- $\beta$ -hidroksibutirat) hasil kultivasi bakteri *Ralstonia eutropha* dengan substrat hidrolisat pati sagu. Untuk mengetahui kemampuan terdegradasi ketiga bioplastik tersebut, maka dilakukanlah pengujian biodegradasi bioplastik poli- $\beta$ -hidroksialkanoat yang dihasilkan oleh studi tersebut.

Proses degradasi bioplastik poli- $\beta$ -hidroksialkanoat bergantung pada aktivitas mikrobial di lingkungan dan pada permukaan polimer. Di sisi lain, kristalinitas, bobot molekul dari bahan, temperatur, hidrofilitas bahan merupakan faktor-faktor penting yang mempengaruhi pertumbuhan mikroorganisme pada permukaan polimer.

Beberapa studi mengenai biodegradasi bioplastik ataupun polimer sintesis telah dilakukan. Parra *et al.* (2006) melakukan pengujian biodegradasi bioplastik poli- $\beta$ -hidroksialkanoat dengan penambahan pemlastis polietilen glikol 300 pada konsentrasi yang berbeda-beda. Pengujian dilakukan dengan menggunakan metode *enzyme assay* atau pengujian dengan menggunakan enzim pada media agar. Parra *et al.* (2006) menyatakan, konsentrasi

pemlastis polietilen glikol 300 yang berbeda-beda akan memberikan kemampuan terdegradasi yang berbeda. Semakin tinggi konsentrasi polietilen glikol 300, maka bioplastik poli- $\beta$ -hidroksialkanoat semakin mudah dan cepat terdegradasi.

Parra *et al.* (2006) tidak melakukan perbandingan antara berbagai macam jenis pemlastis dan perbandingan dengan bioplastik PHA tanpa penambahan pemlastis, sehingga tidak didapatkan informasi mengenai pengaruh penambahan pemlastis yang berbeda-beda terhadap proses biodegradasi. Pada kajian biodegradasi ini digunakan tiga macam pemlastis yang berbeda, sehingga bisa diketahui pemlastis mana yang memberikan sifat fisik mekanis terbaik bagi bioplastik poli- $\beta$ -hidroksialkanoat dan juga memberikan kemampuan terdegradasi mendekati bioplastik poli- $\beta$ -hidroksialkanoat tanpa pemlastis.

Selain tidak adanya data perbandingan antara berbagai macam jenis pemlastis, studi biodegradasi yang dilakukan oleh Parra *et al.* (2006) tidak menggunakan media yang berasal dari alam, sehingga studi yang dilakukan oleh Parra *et al.* (2006) tidak dapat memberikan informasi mengenai kemampuan bioplastik poli- $\beta$ -hidroksialkanoat dengan penambahan pemlastis polietilen glikol 300 untuk terdegradasi di alam. Karena itu pada studi ini digunakan media yang dapat mewakili/mendekati kondisi alam dari segi media yang digunakan.

Pada studi ini digunakan media berupa air danau dan inokulum pendegradasi berupa limbah *nata de coco* yang tidak diberi perlakuan sebelum proses biodegradasi dilakukan. Media berupa air danau dipilih karena diduga mengandung beberapa jenis bakteri yang dapat mendegradasi bioplastik poli- $\beta$ -hidroksialkanoat (Brandl *et al.*, 1995). Sedangkan inokulum pendegradasi berupa limbah cair *nata de coco* merupakan limbah yang diduga mengandung bakteri yang dapat menggunakan biopolimer *nata de coco* sebagai sumber makanan sehingga diduga mampu juga untuk mendegradasi jenis biopolimer yang lain seperti PHB.

## BAHAN DAN METODE

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah bioplastik poli- $\beta$ -hidroksi-alkanoat dengan penambahan pemlastis poli-etilen glikol 400, bioplastik poli- $\beta$ -hidroksi-alkanoat dengan penambahan pemlastis di-etilen glikol, dan bioplastik poli- $\beta$ -hidroksi-alkanoat dengan penambahan pemlastis di-metil ftalat. Sebagai pembanding, digunakan bio-plastik poli- $\beta$ -hidroksialkanoat tanpa penambahan pemlastis. Media cair yang di-gunakan adalah air danau LSI-IPB dengan penambahan inokulum pendegradasi berupa limbah cair industri *nata de coco*. Bahan-bahan kimia yang digunakan, antara lain larutan NaOH 0,1 N, larutan HCl 0,1 N sebagai titran, indikator phenolphthalein (PP), indikator metil jingga, dan urea serta  $K_2HPO_4$  sebagai sumber nitrogen dan sumber fosfor. Bahan lain yang digunakan adalah aquades dan nutrient agar yang digunakan pada proses kuantifikasi mikroorganisme.

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini antara lain, biometer hasil modifikasi yang mengacu pada Andrady dalam Hamid (2000), peralatan gelas (gelas piala, erlenmeyer, pipet tetes, tabung ulir, cawan petri); peralatan ukur (pipet mohr, gelas ukur, buret, neraca, pH meter, dan *colony counter*). Peralatan lain yang digunakan adalah *rotary shaker incubator*. Biometer yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Figure 1. Biometer

Penelitian ini dibagi menjadi dua tahap, yaitu tahap karakterisasi media dan tahap uji biodegradasi dengan menggunakan metode respirometri.

### Karakterisasi Media Pendegradasi

Karakterisasi media pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakter media yang akan digunakan pada proses biodegradasi, dan perubahan apa yang terjadi setelah uji biodegradasi selesai dilakukan. Karakterisasi media yang dilakukan pada penelitian ini adalah kuantifikasi mikroorganisme dengan metode *total plate count* (TPC) dan pengukuran pH media. Karakterisasi dilakukan pada hari ke-0 dan hari ke-50 uji biodegradasi.

### Total Plate Count

Total Plate Count (TPC) dilakukan untuk mengetahui jumlah bakteri yang terdapat pada media biodegradasi. Sebanyak 1 mL sampel dimasukkan ke dalam cawan petri, kemudian nutrient agar dituangkan ke dalam cawan petri yang sudah berisi sampel. Proses inkubasi berlangsung selama 2 x 24 jam pada suhu 36,5 °C. Setelah proses inkubasi selesai dilakukan penghitungan jumlah koloni mikroorganisme.

### Pengukuran pH

Sampel sebanyak 10 mL diukur dengan menggunakan pH meter, dengan terlebih dahulu dilakukan standarisasi dengan buffer pH 4,0 dan 7,0. Pengukuran sampel dilakukan dengan mencelupkan elektroda pH meter ke dalam sampel dan skala dibaca setelah angka konstan.

### Uji Biodegradasi dengan Menggunakan Metode Respirometri

Pengujian biodegradasi bioplastik poli- $\beta$ -hidroksialkanoat dilakukan dengan menggunakan medium air danau LSI – IPB yang dicampur inokulum pendegradasi berupa limbah cair industri *nata de coco* dalam biometer yang dibuat dari botol yang dimodifikasi. Ke dalam media di botol pertama, ditambahkan urea dan  $K_2HPO_4$  sebagai sumber nitrogen dan fosfor dengan konsentrasi 0,1 % dan 0,05 % dari bobot bioplastik poli- $\beta$ -hidroksialkanoat.

Perbandingan antara bahan aktif berupa limbah *nata de coco* dengan air danau adalah 1:10 (10 mL:100 mL). Sampel bioplastik yang akan diuji masing-masing berbobot 0,1 g, diperkecil ukurannya kemudian dicampurkan secara merata ke dalam media yang sudah disiapkan.

Digunakan blanko, berupa media pendegradasi tanpa bioplastik sebagai kontrol atau faktor koreksi dari media pendegradasi yang berisi sampel bioplastik poli-β-hidroksi-alkanoat.

Selama proses degradasi berlangsung, dilakukan pembatasan udara yang masuk ke dalam botol berisi media, sehingga udara yang tersedia hanyalah yang terdapat pada ruang kosong botol di atas permukaan media. Pengamatan biodegradasi bioplastik poli-β-hidroksi-alkanoat dilakukan dengan mengukur gas CO<sub>2</sub> yang diproduksi sebagai hasil mineralisasi polimer sebagai salah satu aktivitas mikroorganisme dalam proses biodegradasi bioplastik poli-β-hidroksi-alkanoat.

Larutan NaOH 0,1 N dengan volume 50 mL ditempatkan pada botol kedua. Selama proses biodegradasi berlangsung akan dihasilkan gas CO<sub>2</sub> yang akan terlarut dalam NaOH. Jumlah gas CO<sub>2</sub> yang bereaksi dapat ditentukan melalui titrasi dengan larutan asam klorida standar (HCl 0,1 N). Larutan NaOH yang telah mengandung CO<sub>2</sub> terlarut ditetesi dengan indikator phenolphthalein (PP) dan dititrasi sampai larutan tidak berwarna. Titrasi ke dua dilanjutkan dengan menggunakan indikator metil jingga hingga larutan berwarna merah muda. Titrasi kedua berhubungan dengan jumlah CO<sub>2</sub> yang terdapat dalam larutan NaOH.

Jumlah CO<sub>2</sub> yang dihasilkan dalam biometer dikoreksi terhadap blanko. Larutan NaOH pada botol kedua diganti secara berkala setiap 2 hari untuk pengujian kadar CO<sub>2</sub> dengan lama waktu pengujian dilakukan selama periode 50 hari. Dari hasil tersebut diperoleh grafik hubungan antara mineralisasi dan waktu.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Karakterisasi Media Pendegradasi

Di antara beberapa faktor yang mendukung proses biodegradasi adalah sifat fisik media pendegradasi dan kandungan mikroorganisme di dalam media pendegradasi. Karena itu perlu dilakukan karakterisasi media, yang di dalamnya meliputi kuantifikasi mikroorganisme yang terdapat pada media dan pengukuran pH serta suhu

media. Hasil kuantifikasi mikroorganisme pada hari ke-0 dan hari ke-50 proses biodegradasi dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

**Table 1. Quantification of microorganisms at day-0**

Sampel	Total Colony (Colony/mL)
Media containing PHA without plastisizer addition	51,25 x 10 <sup>6</sup>
Media containing PHA with the addition of polyethylene glycol 400	51,25 x 10 <sup>6</sup>
Media containing PHA with the addition diethylene glycol	51,25 x 10 <sup>6</sup>
Media containing PHA with the addition of dimethyl phtalate	51,25 x 10 <sup>6</sup>
Blank Media as comparison	51,25 x 10 <sup>6</sup>

**Table 2. Quantification of microorganisms at 50th day**

Sampel	Total Colony (colony/mL)
Media containing PHA without plastisizer addition	116,05 x 10 <sup>6</sup>
Media containing PHA with the addition of polyethylene glycol 400	63,60 x 10 <sup>6</sup>
Media containing PHA with the addition diethylene glycol	56,95 x 10 <sup>6</sup>
Media containing PHA with the addition of dimethyl phtalate	55,55 x 10 <sup>6</sup>
Blank Media as comparison	161,4 x 10 <sup>6</sup>

Perhitungan mikroorganisme pada awal pengujian biodegradasi dilakukan untuk mengetahui bahwa di dalam media terdapat sejumlah mikroorganisme yang diduga dapat mendegradasi bioplastik yang terdapat dalam media. Jumlah mikroorganisme setelah 50

hari pengujian biodegradasi berlangsung, dapat dilihat pada Tabel 2 yang mengindikasikan telah terjadinya pertumbuhan mikroorganisme. Hal ini menandakan bahwa mikroorganisme telah menggunakan sumber nutrisi yang terdapat dalam media untuk pertumbuhannya. Sumber nutrisi yang terdapat pada media antara lain urea sebagai sumber N,  $K_2HPO_4$  sebagai sumber fosfor; dan bioplastik poli- $\beta$ -hidroksialkanoat sebagai sumber karbon. Pertumbuhan mikroorganisme ini juga membuktikan bahwa proses biodegradasi telah terjadi. Bioplastik poli- $\beta$ -hidroksialkanoat sebagai salah satu sumber nutrisi telah didegradasi untuk kemudian dikonversi menjadi sumber nutrisi berupa karbon bebas. Pertumbuhan mikroorganisme ini juga bisa dikaitkan dengan produksi  $CO_2$ . Dengan adanya pertumbuhan mikroorganisme, maka dapat dikatakan bahwa gas  $CO_2$  yang dihasilkan selama proses biodegradasi merupakan hasil dari metabolisme mikroorganisme.

Tabel 2 menunjukkan bahwa, pada hari ke-50 proses biodegradasi, jumlah mikroorganisme terbanyak terdapat pada media blanko, diikuti dengan media mengandung bioplastik poli- $\beta$ -hidroksialkanoat tanpa penambahan pemplastis, media mengandung bioplastik poli- $\beta$ -hidroksialkanoat dengan penambahan pemplastis polietilen glikol 400, media mengandung bioplastik poli- $\beta$ -hidroksialkanoat dengan penambahan pemplastis dietilen glikol, dan media mengandung bioplastik poli- $\beta$ -hidroksialkanoat dengan penambahan pemplastis dimetil ftalat. Data ini menunjukkan ketidaksesuaian dengan data produksi  $CO_2$ , khususnya pada data bioplastik poli- $\beta$ -hidroksialkanoat dengan penambahan pemplastis. Bioplastik poli- $\beta$ -hidroksialkanoat dengan penambahan pemplastis polietilen glikol 400 memiliki akumulasi produksi  $CO_2$  tertinggi dan laju produksi  $CO_2$  tercepat, diikuti oleh bioplastik poli- $\beta$ -hidroksialkanoat dengan penambahan pemplastis polietilen glikol, dan bioplastik poli- $\beta$ -hidroksialkanoat dengan penambahan pemplastis dimetil ftalat. Ketidaksesuaian ini diduga karena tidak semua mikroorganisme di dalam media mampu/merupakan mikroorganisme pendegradasi bioplastik poli- $\beta$ -hidroksialkanoat.

Media yang digunakan dalam uji biodegradasi bioplastik ini adalah media air danau dengan penambahan limbah cair industri *nata de coco* sebagai bahan aktif. Air danau mengandung beberapa jenis bakteri dari genus *Comamonas* dan *Pseudomonas* (famili *Pseudomonadaceae*) yang dapat mendegradasi secara biologis bioplastik poli- $\beta$ -hidroksialkanoat. Beberapa diantaranya adalah *Comamonas acidovorans*; *Pseudomonas cepacia*; *Pseudomonas stutzeri*; *Pseudomonas vesicularis* (Brandl et al., 1995). Terdapat kemungkinan bahwa masih ada jenis bakteri lain yang hidup di dalam media, tetapi bukan dari jenis yang mampu untuk mendegradasi bioplastik poli- $\beta$ -hidroksialkanoat.

Selain melakukan kuantifikasi mikroorganisme, pengujian sifat fisik dan kimia media juga dilakukan. Pengujian tersebut meliputi pengukuran suhu dan pH media. Pengukuran suhu dan pH media dilakukan pada hari ke-0 proses biodegradasi dan hari ke-50. Hasil pengukuran suhu dan pH disajikan pada Tabel 3 dan Tabel 4.

**Table 3. Temperature and pH of media at day-0**

Parameter	Water from lake	Waste water	Mixture
Temp ( $^{\circ}C$ )	28	27	28
pH	6.24	3.55	3.24

**Table 4. Temperature and pH at 50th day.**

Sampel	Temp ( $^{\circ}C$ )	pH
Media containing PHA without plastisizer addition	28	7,97
Media containing PHA with the addition of polyethylene glycol 400	28	7,62
Media containing PHA with the addition diethylene glycol	28	7,77
Media containing PHA with the addition of dimethyl phtalate	28	7,42
Blank Media as comparison	28	7,55

Pada Tabel 3 dan 4 dapat dilihat bahwa rentang suhu media berada pada kisaran 27-28  $^{\circ}C$ . Bakteri dari famili *Pseudomonadaceae* (termasuk di dalamnya genus *Pseudomonas* dan *Acetobacter*)



memiliki kisaran suhu optimum pertumbuhan antara 20-30 °C. Suhu media pada awal dan akhir proses biodegradasi berada pada kisaran suhu yang baik bagi pertumbuhan bakteri-bakteri tersebut, sehingga memungkinkan pertumbuhan bakteri secara optimum selama proses biodegradasi berlangsung (Fardiaz, 1992).

Selama proses biodegradasi, terjadi perubahan pH (derajat keasaman) yang cukup signifikan. Pada Tabel 3 dan 4 dapat dilihat bahwa media berubah sifat dari asam menjadi basa. Pada awal proses biodegradasi ( $H_0$ ), pH media (campuran antara limbah dengan air danau) berada pada pH 3,24. Sifat asam media tersebut disebabkan oleh sifat asam limbah *nata de coco* yang menjadi bahan aktif dalam media. Sifat asam limbah cair industri *nata de coco* disebabkan oleh kandungan asam asetat dalam limbah yang dihasilkan oleh *Acetobacter xylinum* selama proses produksi *nata de coco*. Menurut Anonim<sup>b</sup> (2006), *Acetobacter* merupakan genus bakteri asam asetat yang terkaraktirisasi oleh kemampuannya dalam mengkonversi alkohol (etanol) menjadi asam asetat secara aerobik.

Pada akhir proses biodegradasi ( $H_{50}$ ) terjadi perubahan pH menjadi di atas pH netral (basa). Diduga perubahan pH terjadi karena asam organik (asam asetat) di dalam media digunakan oleh bakteri sebagai sumber karbon untuk memproduksi PHA-depolimerase. Sintesis enzim PHA-depolimerase pada bakteri biasanya terjadi jika sumber karbon terlarut yang cocok, seperti glukosa dan asam organik, tersedia (Jendrossek dan Handrick, 2002).

Pada Tabel 4, terlihat pH akhir dari media berada pada kisaran 7,42-7,97. Hal tersebut dikarenakan enzim PHA-depolimerase bekerja pada pH optimum alkali antara 7,5-9,8, sehingga bakteri mengkondisikan lingkungannya agar sesuai dengan kondisi optimum PHA-depolimerase dalam melakukan proses biodegradasi bioplastik.

#### Uji Biodegradasi Bioplastik Poli-β-hidroksilakanoat dengan Menggunakan Metode Respirometri

Mineralisasi merupakan salah satu tahapan pada proses biodegradasi yang dapat dijadikan parameter biodegradasi. Penggu-

naan mineralisasi sebagai parameter biodegradasi dilakukan dengan cara mengukur produksi gas CO<sub>2</sub> selama proses biodegradasi berlangsung.

Tahapan mineralisasi pada proses biodegradasi melibatkan reaksi oksidasi dengan oksigen yang bertindak sebagai oksidator. Pada proses biodegradasi bioplastik poli-β-hidroksilakanoat, khususnya dari golongan poli-β-hidroksibutirat, reaksi ini ditunjukkan Gambar 2.

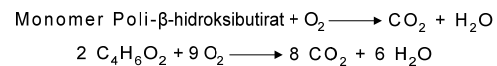


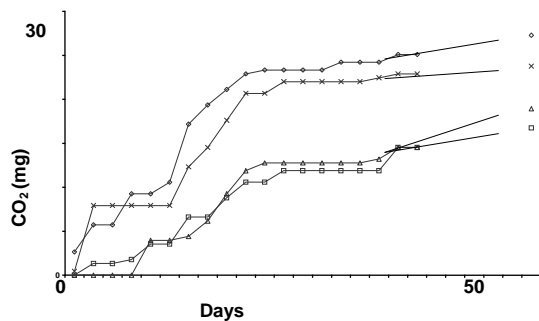
Figure 2. Reaction at mineralization step (Narayan, 2006)

Metode respirometri merupakan metode yang dapat digunakan untuk mengukur proses biodegradasi dengan melakukan pengamatan terhadap proses mineralisasi. Gambar 3 memperlihatkan grafik akumulasi produksi CO<sub>2</sub> pada pengukuran produksi CO<sub>2</sub> dengan menggunakan metode respirometri selama 50 hari pengujian. Pengukuran jumlah produksi CO<sub>2</sub> dilakukan selama 50 hari dengan evaluasi dilakukan setiap 2 hari hingga hari ke-38. Evaluasi CO<sub>2</sub> kembali dilakukan pada hari ke-50 untuk mengetahui jumlah produksi CO<sub>2</sub> pada akhir periode biodegradasi.

Dengan menggunakan metode respirometri, suatu bahan dapat dikatakan mampu terdegradasi secara biologis, jika terdapat gas CO<sub>2</sub> yang diproduksi oleh sistem biologis pada biometer. Merujuk pada Gambar 3, dapat disimpulkan bahwa bioplastik poli-β-hidroksilakanoat dengan penambahan pemlastis polietilen glikol 400, dietilen glikol, dan dimetil ftalat, mampu terdegradasi secara biologis. Hal tersebut dibuktikan dengan adanya gas CO<sub>2</sub> yang diproduksi selama proses biodegradasi berlangsung.

Pada pengujian biodegradasi ini poli-β-hidroksilakanoat tanpa pemlastis digunakan sebagai pembanding. Secara keseluruhan, bioplastik poli-β-hidroksilakanoat tanpa penambahan pemlastis terdegradasi dengan laju produksi CO<sub>2</sub> paling cepat dan akumulasi produksi CO<sub>2</sub> tertinggi dibandingkan dengan poli-β-

hidroksialkanoat dengan penambahan pemlastis polietilen glikol 400, dietilen glikol, dan dimetil ftalat. Hal tersebut didukung oleh data akumulasi produksi CO<sub>2</sub> dan data laju produksi CO<sub>2</sub> selama 50 hari pengujian. Pada hari ke-50, jumlah total CO<sub>2</sub> yang dihasilkan oleh proses mineralisasi poli-β-hidroksialkanoat tanpa pemlastis mencapai 27,28 mg, dengan laju produksi CO<sub>2</sub> mencapai 0,55 mg/hari. Nilai laju produksi didapat dengan menggunakan perhitungan  $\Delta y/\Delta t = (y_i - y_0) / (t_i - t_0)$ , dengan  $y_i$  = jumlah akumulasi produksi CO<sub>2</sub> pada hari ke- $i$ ;  $y_0$  = jumlah akumulasi produksi CO<sub>2</sub> pada hari ke-0;  $t_i$  = hari ke- $i$ ; dan  $t_0$  = hari ke-0.



**Figure 3. Accumulation of CO<sub>2</sub> during biodegradation process of bioplastic poly-β-hidroksialkanoate with-out plasticizer addition (◇; CO<sub>2</sub> accumulation = 27,28 mg); bioplastic poly-β-hidroksialkanoate with the addition of polyethylene glycol 400 (×; CO<sub>2</sub> accumulation = 23,76 mg); bioplastic poly-β-hidroksialkanoate with the addition of diethylene glycol (△; CO<sub>2</sub> accumulation = 18,92 mg); and bioplastic poly-β-hidroksialkanoate with the addition of dimethyl phthalate (□; CO<sub>2</sub> accumulation = 16,72 mg).**

Fakta bahwa bioplastik poli-β-hidroksialkanoat tanpa penambahan pemlastis mampu terdegradasi lebih cepat dan menghasilkan CO<sub>2</sub> lebih banyak, mendukung teori bahwa penambahan pemlastis akan mempengaruhi proses biodegradasi bioplastik poli-β-hidroksialkanoat, dan pada studi biodegradasi ini pengaruh tersebut berupa perlambatan proses biodegradasi. Dibandingkan dengan poli-β-hidroksialkanoat dengan penambahan pemlastis, poli-β-hidroksialkanoat tanpa

penambahan pemlastis memiliki struktur kimia yang lebih sederhana, karena ikatan-ikatan yang terdapat pada bioplastik hanyalah ikatan antar monomer poli-β-hidroksialkanoat sendiri. Sedangkan pada poli-β-hidroksialkanoat dengan penambahan pemlastis terbentuk ikatan-ikatan antara molekul-molekul yang terdapat pada poli-β-hidroksialkanoat dan pemlastis. Ikatan tersebut menyebabkan struktur kimia poli-β-hidroksialkanoat dengan penambahan pemlastis menjadi lebih kompleks dibandingkan dengan struktur kimia poli-β-hidroksialkanoat tanpa penambahan pemlastis sehingga sampel poli-β-hidroksialkanoat dengan penambahan pemlastis lebih sulit terdegradasi.

Sampel yang menjadi fokus pada penelitian ini adalah sampel dengan penambahan pemlastis polietilen glikol 400, dietilen glikol, dan dimetil ftalat. Dari Gambar 3, bioplastik poli-β-hidroksialkanoat dengan penambahan pemlastis polietilen glikol 400 memiliki kemampuan terdegradasi paling cepat dibandingkan bioplastik poli-β-hidroksialkanoat dengan pemlastis dietilen glikol dan bioplastik poli-β-hidroksialkanoat dengan penambahan pemlastis dimetil ftalat masing-masing adalah 23,76 mg, 18,92 mg, dan 16,72 mg, dengan laju produksi CO<sub>2</sub> masing-masing 0,48 mg/hari, 0,38 mg/hari, dan 0,33 mg/hari.

Polietilen glikol 400 dan dietilen glikol merupakan pemlastis hidrofilik. Pemlastis hidrofilik akan meningkatkan laju biodegradasi, dan penambahan konsentrasi pemlastis hidrofilik akan meningkatkan laju degradasi enzimatik. Penambahan jumlah pemlastis hidrofilik yang semakin besar akan meningkatkan jumlah gugus polar (OH) pada sampel, dan mengakibatkan adanya interaksi antara gugus polar tersebut dengan molekul air pada proses hidrolisis, proses yang menyebabkan terjadinya biodegradasi. Akibat adanya interaksi antara gugus polar yang terdapat pada pemlastis dengan molekul

air, mikroorganisme pendegradasi yang terdapat pada media pun akan lebih mudah berinteraksi dengan permukaan polimer dan memiliki akses yang lebih besar untuk melekat pada permukaan polimer, sehingga proses biodegradasi dapat berjalan lebih cepat.

Sifat hidrofilik pemlastis juga memberikan kontribusi terhadap proses hidrolisis. Enzim yang bekerja pada proses biodegradasi ini diduga adalah enzim PHA-depolimerase. Enzim tersebut termasuk ke dalam kelas utama hidrolase. Enzim dari kelas hidrolase adalah enzim yang mengikat air ke dalam ikatan-ikatan kimia suatu bahan, dan menggunakan air tersebut untuk proses hidrolisis. Semakin mudah suatu bahan untuk berinteraksi dengan air, maka diduga terjadinya proses hidrolisis akan semakin besar. Proses hidrolisis ini terjadi pada tahapan depolimerisasi, tahapan dimana rantai-rantai polimer diputus menjadi monomer-monomer untuk kemudian ditransfer ke dalam sel mikroorganisme sebagai sumber nutrisi (sumber karbon). Semakin banyak dan semakin cepat rantai diputus menjadi monomer, maka akan mengarah kepada proses biodegradasi yang lebih cepat dan jumlah CO<sub>2</sub> yang dihasilkan akan lebih banyak.

Pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa bioplastik poli-β-hidroksialkanoat dengan penambahan pemlastis etilen glikol 400 memiliki akumulasi produksi CO<sub>2</sub> lebih tinggi jika dibandingkan dengan bioplastik poli-β-hidroksialkanoat dengan penambahan pemlastis dietilen glikol. Hal ini diduga terjadi karena kemampuan bioplastik poli-β-hidroksialkanoat dengan penambahan pemlastis polietilen glikol 400 dalam berinteraksi dengan molekul air, lebih tinggi jika dibandingkan dengan bioplastik poli-β-hidroksialkanoat dengan penambahan pemlastis dietilen glikol. Kemampuan mengikat air pada pemlastis polietilen glikol 400 dan dietilen glikol, selain dari gugus hidroksil (-OH), diduga terjadi melalui ikatan hidrogen antara molekul air dengan gugus eter (-O-) pada molekul polietilen glikol 400 dan dietilen glikol (Israelachvili, 1997). Pada polietilen glikol 400, setidaknya terdapat delapan gugus eter (-O-) yang dapat berikatan dengan molekul-molekul air melalui ikatan hidrogen, sedangkan pada

molekul dietilen glikol hanya terdapat satu gugus eter (-O-) yang dapat berikatan dengan molekul air. Sifat pemlastis polietilen glikol 400 yang lebih hidrofilik dari pemlastis dietilen glikol inilah yang diduga menyebabkan proses biodegradasi pada bioplastik poli-β-hidroksialkanoat dengan penambahan pemlastis polietilen glikol 400 lebih cepat jika dibandingkan dengan proses biodegradasi pada bioplastik poli-β-hidroksialkanoat dengan penambahan pemlastis dietilen glikol.

Seperti terlihat pada Gambar 3, bioplastik poli-β-hidroksialkanoat dengan penambahan pemlastis dimetil ftalat merupakan bioplastik yang memiliki akumulasi produksi CO<sub>2</sub> terkecil dan laju produksi CO<sub>2</sub> paling lambat jika dibandingkan dengan bioplastik dengan penambahan pemlastis lainnya. Ada tiga hal diperkirakan yang mengakibatkan poli-β-hidroksialkanoat dengan penambahan pemlastis dimetil ftalat memiliki akumulasi produksi CO<sub>2</sub> terkecil dan laju produksi CO<sub>2</sub> paling lambat. Pertama, sifat non polar pemlastis dimetil ftalat; kedua, kristalinitas bioplastik poli-β-hidroksialkanoat dengan penambahan pemlastis dimetil ftalat yang tinggi; dan ketiga, struktur molekul dimetil ftalat.

Dimetil ftalat merupakan pemlastis yang bersifat dapat larut dalam alkohol, eter, dan kloroform akan tetapi tidak dapat larut dalam air. Dengan kata lain, dimetil ftalat merupakan pemlastis yang hidrofobik. Ketidaklarutan dimetil ftalat di dalam air, mengakibatkan rendahnya aksesibilitas mikroorganisme pada permukaan bioplastik. Selain itu, sifat hidrofobik dimetil ftalat mengakibatkan sulitnya enzim untuk mengikat air ke dalam ikatan-ikatan yang terbentuk antara biopolimer dan pemlastis, yang mengakibatkan proses hidrolisis (pemutusan rantai) menjadi terhambat.

Bioplastik poli-β-hidroksialkanoat dengan penambahan pemlastis dimetil ftalat yang digunakan pada uji biodegradasi ini memiliki tingkat kristalinitas tertinggi jika dibandingkan dengan dua sampel lainnya (bioplastik poli-β-hidroksialkanoat dengan penambahan pemlastis polietilen glikol 400 dan bioplastik poli-β-hidroksialkanoat dengan penambahan pemlastis dietilen glikol). Derajat kristalinitas bioplastik poli-β-

hidroksialkanoat dengan penambahan pmlastis dimetil ftalat yang digunakan sebagai sampel uji biodegradasi mencapai 51,62%, sedangkan bioplastik poli- $\beta$ -hidroksialkanoat dengan penambahan pmlastis polietilen glikol 400 dan bioplastik poli- $\beta$ -hidroksialkanoat dengan penambahan pmlastis dietilen glikol masing-masing memiliki derajat kristalinitas sebesar 44,58% dan 31,45% (Juari, 2006; Rais, 2007; Delvia, 2006).

Struktur molekul dimetil ftalat, yang memiliki satu cincin aromatik diduga memperlambat laju biodegradasi. Hal ini sesuai dengan pernyataan Kim dan Rhee (2003), yang menyatakan bahwa adanya cincin aromatik dalam suatu polimer akan memperlambat proses biodegradasi suatu polimer. Hampir semua senyawa dengan cincin aromatik di dalamnya merupakan senyawaan yang toksik dan bersifat karsinogenik. Sifat toksik ini dapat menghambat mikroorganisme dalam mengurai bioplastik poli- $\beta$ -hidroksialkanoat dengan penambahan pmlastis dimetil ftalat. Selain sifat toksik tersebut, dimetil ftalat membentuk ikatan dengan kekuatan yang tinggi dengan rantai-rantai poli- $\beta$ -hidroksialkanoat. Hal tersebut mempersulit pemutusan ikatan antara poli- $\beta$ -hidroksialkanoat dengan dimetil ftalat. Diduga, hal-hal tersebut yang mengakibatkan sulitnya bioplastik poli- $\beta$ -hidroksialkanoat dengan penambahan pmlastis dimetil ftalat untuk terdegradasi.

Pembatasan udara yang masuk ke dalam biometer, nyata memberikan pengaruh terhadap proses biodegradasi bioplastik. Pengaruh dari pembatasan udara ini adalah, akumulasi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan selama proses biodegradasi yang lebih kecil dan laju produksi CO<sub>2</sub> yang lebih lambat jika dibandingkan dengan akumulasi CO<sub>2</sub> dan laju produksi CO<sub>2</sub> dari proses biodegradasi dengan perlakuan aerasi terus menerus. Media yang dipasok udara secara terus menerus dengan menggunakan pompa aerasi menghasilkan akumulasi produksi CO<sub>2</sub> lebih banyak dan laju produksi CO<sub>2</sub> yang lebih cepat jika dibandingkan dengan media yang udaranya terbatas hanya pada udara di atas permukaan media. Data produksi CO<sub>2</sub> dan laju produksi CO<sub>2</sub> proses biodegradasi

dengan aerasi, merujuk pada penelitian Dinyati (2006).

Akumulasi produksi CO<sub>2</sub> yang lebih rendah serta laju produksi CO<sub>2</sub> yang lebih lambat diduga dikarenakan terhambatnya reaksi oksidasi pada tahapan mineralisasi. Reaksi oksidasi pada tahapan mineralisasi membutuhkan oksigen sebagai oksidator. Terbatasnya jumlah oksigen akan menghambat proses oksidasi, sehingga CO<sub>2</sub> yang dihasilkan oleh tahapan mineralisasi menjadi lebih sedikit jika dibandingkan dengan proses biodegradasi dengan menggunakan pompa aerasi. Selain hal tersebut, diduga sifat bakteri dari famili *Pseudomonadaceae* yang merupakan bakteri aerobik pun memberikan pengaruh terhadap proses biodegradasi. Walaupun pengujian biodegradasi yang dilakukan tidak dalam kondisi anaerobik, jumlah udara yang terbatas (hanya yang terdapat pada ruang kosong botol di atas permukaan media) akan mempengaruhi pertumbuhan mikroorganisme karena ada satu faktor pertumbuhan yang dibatasi. Jumlah mikroorganisme yang mendegradasi bioplastik poli- $\beta$ -hidroksialkanoat pada proses biodegradasi dengan udara terlimitasi akan lebih sedikit jika dibandingkan proses biodegradasi dengan menggunakan aerasi.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Bioplastik poli- $\beta$ -hidroksialkanoat dengan penambahan pmlastis polietilen glikol 400, dietilen glikol, dan dimetil ftalat, mampu terdegradasi secara biologis pada media cair dengan udara terlimitasi. Kemampuan untuk terdegradasi ini ditandai dengan diproduksinya gas CO<sub>2</sub>.

Penambahan pmlastis polietilen glikol 400, dietilen glikol, dan dimetil ftalat memberikan pengaruh yang negatif bagi proses biodegradasi bioplastik poli- $\beta$ -hidroksialkanoat. Akumulasi produksi CO<sub>2</sub> lebih kecil dan laju produksi CO<sub>2</sub> berlangsung lebih lambat jika dibandingkan dengan jumlah CO<sub>2</sub> yang dihasilkan bioplastik poli- $\beta$ -hidroksialkanoat tanpa pmlastis. Bioplastik poli- $\beta$ -hidroksialkanoat tanpa pmlastis sebagai pembanding memiliki akumulasi produksi CO<sub>2</sub> terbesar

dan laju produksi CO<sub>2</sub> paling cepat dengan akumulasi produksi CO<sub>2</sub> sebesar 27,28 mg CO<sub>2</sub> dan laju produksi CO<sub>2</sub> sebesar 0,55 mg CO<sub>2</sub>/hari.

Bioplastik poli-β-hidroksialkanoat dengan penambahan pemlastis polietilen glikol 400 merupakan bioplastik dengan penambahan pemlastis yang paling cepat terdegradasi dengan akumulasi produksi CO<sub>2</sub> sebesar 23,76 mg dan laju produksi CO<sub>2</sub> sebesar 0,48 mg CO<sub>2</sub>/hari, diikuti oleh bioplastik poli-β-hidroksialkanoat dengan penambahan pemlastis dietilen glikol dengan akumulasi produksi CO<sub>2</sub> sebesar 18,92 mg dan laju produksi CO<sub>2</sub> sebesar 0,38 mg CO<sub>2</sub>/hari, dan bioplastik poli-β-hidroksialkanoat dengan penambahan pemlastis dimetil ftalat dengan akumulasi produksi CO<sub>2</sub> sebesar 16,72 mg dan laju produksi CO<sub>2</sub> sebesar 0,33 mg CO<sub>2</sub>/hari.

Pasokan udara yang terbatas berpengaruh negatif terhadap proses biodegradasi. Pasokan udara yang terbatas pada proses biodegradasi berakibat pada akumulasi produksi CO<sub>2</sub> yang lebih kecil dan laju produksi CO<sub>2</sub> yang lebih lambat jika dibandingkan dengan proses biodegradasi yang dipasok udara secara terus menerus dengan menggunakan pompa aerasi.

#### Saran

Pengujian biodegradasi bioplastik poli-β-hidroksialkanoat masih memiliki peluang untuk dikembangkan. Beberapa hal yang dapat dijadikan pertimbangan antara lain penggunaan media lain baik media padat maupun media cair.

#### 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

- Andrady, A. L. 2000. Assesment of Biodegradability in Organic Polymers. dalam Hamid, S. H. (ed). Handbook of Polymer Degradation. New York. Marcel Dekker, inc.
- Anonim<sup>a</sup>. 2006. Plastics Recycling Information Sheet. [http://www.wasteonline.org.uk/resources/InformationSheets/Plastics.htm#\\_What\\_you\\_can\\_do](http://www.wasteonline.org.uk/resources/InformationSheets/Plastics.htm#_What_you_can_do). [9 November 2006].
- Anonim<sup>b</sup>. 2006. Acetobacter. <http://www.en.wikipedia.org/Acetobacter>. [6 Oktober 2006].
- Brandl, H., R. Bachofen, J. Mayer, E. Wintermantel. 1995. Degradation and Applications of Polyhydroxyalkanoates. Can. J. Microbiol. 41 [Suppl. 1]: 143–153
- Delvia, V. 2006. Proses Pembuatan Bioplastik dan Kajian Pengaruh Penambahan Dietilen Glikol sebagai Pemlastis pada Karakteristik Bioplastik dari Poli-β-hidroksialkanoat (PHA). Skripsi. Bogor: Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
- Dinyati, S. 2007. Pengaruh Penambahan Pemlastis Dimetil Ftalat, Dietil Glikol dan Polietilen Glikol dalam Proses Biodegradasi Poli-β-hidroksialkanoat (PHA) pada Media Air Secara Aerobik. Skripsi. Bogor: Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
- Fardiaz, S. 1992. Mikrobiologi Pangan 1. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Israelachvili, J. 1997. The Different Faces of Poly(ethylene glycol) (Commentary). Proc. Natl. Acad. Sci. USA Vol. 94, pp. 8378-8379, August 1997.
- Jendrossek, D. dan R. Handrick. 2002. Microbial Degradation of Polyhydroxyalkanoates. Annu. Rev. Microbiol. 2002. 56:403–32.
- Juari. 2006. Pembuatan dan Karakterisasi Bioplastik dari Poli-3-hidroksialkanoat (PHA) yang Dihasilkan *Ralstonia eutropha* pada Hidrolisat Pati Sagu dengan Penambahan Dimetil Ftalat (DMF). Skripsi. Bogor: Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

- Kaplan, D. L., J. M. Mayer, D. Ball, J. McCassie, A. L. Allen, dan P. Stenhouse. 1993. Fundamentals of Biodegradable Polymers. dalam Ching, C., D. L. Kaplan, dan E. L. Thomas (eds). Biodegradable Polymers and Packaging. Lancaster: Technomics Publishing Co. Inc.
- Kim, D. Y. dan Y. H. Rhee. 2003. Biodegradation of Microbial and Synthetic Polyesters by Fungi. *Appl Microbiol Biotechnol* (2003) 61:300–308.
- Knapczyk, J. K. dan R. H. M. Simon. Synthetic Resins and Plastic. dalam Kent, J. A. (ed). 1992. Riedel's Handbook of Industrial Chemistry 9th Edition. New York: Van Nostrans Reinhold.
- Narayan, R. 2006. Biobased and Biodegradable Plastic. Dept. of Chemical Engineering and Material Science, Michigan State University, East Lansing, Michigan, USA.
- Parra, D. F., J. Fusaro, F. Gaboardi, dan D.S. Rosa. 2006. Influence of Poly (Ethylene Glycol) on The Thermal, Mechanical, Morphological, Physicalechemical and Biodegradation Properties of Poly (3-Hydroxybutyrate). *Poly. Deg. Stab.* (2006) 1-6 (Uncorrected proof).
- Rais, D. 2007. Pengaruh Konsentrasi PEG 400 Terhadap Karakteristik Bioplastik Polihidroksialkanoat (PHA) yang Dihasilkan oleh *Ralstonia eutropha* Menggunakan Substrat Hidrolisat Pati Sagu. Skripsi. Bogor: Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

# PEDOMAN PENULISAN

## Jurnal Teknologi Pertanian

### Universitas Mulawarman

#### Pengiriman

Jurnal Teknologi Pertanian Universitas Mulawarman menerima naskah berupa artikel hasil penelitian dan ulasan balik (*review*) yang belum pernah dipublikasikan pada majalah/jurnal lain. Penulis diminta mengirimkan tiga eksemplar naskah asli beserta *softcopy* dalam disket yang ditulis dengan program *Microsoft Word*. Naskah dan disket dikirimkan kepada:

#### Editor Jurnal Teknologi Pertanian

d. a. Program Studi Teknologi Hasil Pertanian  
Jurusan Budidaya Pertanian Fakultas Pertanian  
Universitas Mulawarman  
Jalan Pasir Belengkong  
Samarinda 75123

#### Format

**Umum.** Naskah diketik dua spasi pada kertas A4 dengan tepi atas dan kiri 3 centimeter, kanan dan bawah 2 centimeter menggunakan huruf *Times New Roman 12 point*, maksimum 12 halaman. Setiap halaman diberi nomor secara berurutan. Ulasan balik ditulis sebagai naskah sinambung tanpa subjudul Bahan dan Metode, Hasil dan Pembahasan. Selanjutnya susunan naskah dibuat sebagai berikut :

**Judul.** Pada halaman judul tuliskan judul, nama setiap penulis, nama dan alamat institusi masing-masing penulis, dan catatan kaki yang berisi nama, alamat, nomor telepon dan faks serta alamat E-mail jika ada dari *corresponding author*. Jika naskah ditulis dalam bahasa Indonesia tuliskan judul dalam bahasa Indonesia diikuti judul dalam bahasa Inggris.

**Abstrak.** Abstrak ditulis dalam bahasa Inggris dengan judul "ABSTRACT" maksimum 250 kata. Kata kunci dengan judul "Key word" ditulis dalam bahasa Inggris di bawah abstrak.

**Pendahuluan.** Berisi latar belakang dan tujuan.

**Bahan dan Metode.** Berisi informasi teknis sehingga percobaan dapat diulangi dengan teknik yang dikemukakan. Metode diuraikan secara lengkap jika metode yang digunakan adalah metode baru.

**Hasil.** Berisi hanya hasil-hasil penelitian baik yang disajikan dalam bentuk tubuh tulisan, tabel, maupun gambar. Foto dicetak hitam-putih pada kertas licin berukuran setengah kartu pos.

**Pembahasan.** Berisi interpretasi dari hasil penelitian yang diperoleh dan dikaitkan dengan hasil-hasil penelitian yang pernah dilaporkan (publikasi).

**Ucapan Terima Kasih.** Digunakan untuk menyebutkan sumber dana penelitian dan untuk memberikan penghargaan kepada beberapa institusi atau orang yang membantu dalam pelaksanaan penelitian dan atau penulisan laporan.

**Daftar Pustaka.** Daftar Pustaka ditulis memakai sistem nama tahun dan disusun secara abjad. Beberapa contoh penulisan sumber acuan:

#### Jurnal

Wang SS, Chiang WC, Zhao BL, Zheng X, Kim IH (1991) Experimental analysis and computer simulation of starch-water interaction. *J Food Sci* 56: 121-129.

#### Buku

Charley H, Weaver C (1998) *Food a Scientific Approach*. Prentice-Hall Inc USA

#### Bab dalam Buku

Gordon J, Davis E (1998) Water migration and food storage stability. Dalam: *Food Storage Stability*. Taub I, Singh R. (eds.), CRC Press LLC.

#### Abstrak

Rusmana I, Hadioetomo RS (1991) *Bacillus thuringiensis* Berl. dari peternakan ulat sutera dan toksisitasnya. Abstrak Pertemuan Ilmiah Tahunan Perhimpunan Mikrobiologi Indonesia. Bogor 2-3 Des 1991 hA-26.

#### Prosiding

Prabowo S, Zuheid N, Haryadi (2002) Aroma nasi: Perubahan setelah disimpan dalam wadah dengan suhu terkendali. Dalam: *Prosiding Seminar Nasional PATPI*. Malang 30-31 Juli 2002 hA48.

#### Skripsi/Tesis/Disertasi

Meliana B (1985) Pengaruh rasio udang dan tapioka terhadap sifat-sifat kerupuk udang. Skripsi Fakultas Teknologi Pertanian UGM Yogyakarta.

#### Informasi dari Internet

Hansen L (1999) Non-target effects of Bt corn pollen on the Monarch butterfly (Lepidoptera: Danaidae). <http://www.ent.iastate.edu/entsoc/ncb99/pr og/abs/D81.html> [21 Agu 1999].

Bagi yang naskahnya dimuat, penulis dikenakan biaya Rp 75.000,00 (tujuh puluh lima ribu rupiah).

Hal lain yang belum termasuk dalam petunjuk penulisan ini dapat ditanyakan langsung kepada REDAKSI JTP