

Kerentanan Poliester Alifatik Terhadap Biodegradasi

Biodegradability of Aliphatic Polyester

EVITA CHRISNAYANTI¹, EFRIDA MARTIUS¹, ROFIQ SUNARYANTO¹, LIES DWIARTI¹,
HARDANING PRANAMUDA^{1*} & YUTAKA TOKIWA²

¹Pusat Pengkajian dan Penerapan Bioteknologi Industri dan Pertanian, Kawasan Puspiptek, Serpong, Tangerang 15314

²National Institute of Bioscience and Human-Technology, Tsukuba, Ibaraki 305-8566, Japan

The presence of microbes which can degrade commercial biodegradable plastics, i.e. poly- ϵ -caprolactone (PCL), poly- β -hydroxy butyrate (PHB), polybutylene succinate (PBS) and polylactic acid (PLA), was evaluated using colony-counting and clear-zones methods. Out of 12 soil samples taken from Serpong area, it was confirmed that PCL, PHB and PBS degrading microorganisms were observed in all samples, but no samples showed PLA degradation. The ratio of degrading microorganisms to total microorganisms decreased following the order of PCL, PHB, PBS and PLA. Result of burial test of biodegradable plastic films show that PHB film is easy to degrade but not PLA film. The tendency of the results was similar with the results reported in the same investigation at sub-tropical country.

Key words: plastic, polyester, biodegradation

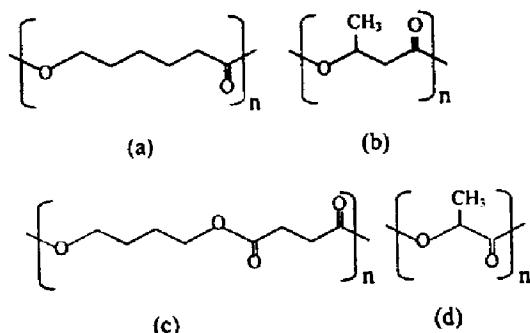
Plastik banyak diproduksi dan digunakan secara luas untuk berbagai kebutuhan, mulai dari bahan pengemas hingga aplikasi kedokteran. Plastik yang pada umumnya dibuat dari bahan baku minyak bumi ini ternyata banyak menimbulkan masalah lingkungan yang semakin serius dari hari ke hari karena sifatnya yang stabil dan sulit mengalami penguraian di alam. Jepang menangani 70% sampahnya dengan metode pembakaran dalam *incinerator* dan Amerika Serikat menangani 90% sampahnya dengan penimbunan (*landfill*) (BPS-Japan 1996). Cara penanganan seperti ini banyak mendapat sorotan akhir-akhir ini, karena berdampak buruk terhadap lingkungan. Pembakaran berakibat terbentuknya gas beracun dioksin, sedangkan penimbunan berpeluang mencemari air tanah dan juga mengakibatkan semakin terbatasnya tempat penimbunan.

Untuk menangani masalah sampah plastik, pengembangan bahan plastik yang bersifat biodegradabel menjadi salah satu alternatif pemecahan. Plastik biodegradabel adalah jenis plastik yang dalam pemakaiannya mempunyai sifat dan fungsi yang sama dengan plastik konvensional, namun setelah selesai dipakai dan dibuang ke lingkungan akan terurai oleh aktivitas mikrob menjadi air dan karbondioksida (Doi 1990). Poliester alifatik dikenal mempunyai sifat biodegradabel karena dapat diuraikan oleh enzim lipase (Tokiwa & Suzuki 1977). Beberapa poliester kini telah tersedia secara komersial, seperti poli- ϵ -kaprolakton (PCL), poli- β -hidroksi butirat (PHB), polibutilen suksinat (PBS), dan poliasam laktat (PLA) (Gambar 1).

Evaluasi mengenai biodegradabilitas polimer plastik harus dilakukan secara terpadu guna meminimumkan efek negatif yang mungkin timbul akibat biodegradasi plastik di lingkungan. Bukan hanya uji fisiologi, seperti uji enzimatis dan uji mikrobial,

tetapi uji ekologi juga diperlukan untuk mengetahui kompatibilitas polimer plastik terhadap lingkungan. Uji ekologi meliputi uji penyebaran mikrob pengurai plastik dan nisbahnya di lingkungan alam. Uji ini telah dilaporkan di lingkungan subtropik (Nishida & Tokiwa 1993, Pranamuda *et al.* 1995, Tansengco & Tokiwa 1998). Mikrob pengurai PHB dan PCL tersebar luas di lingkungan tanah dan air, pengurai PBS penyebarannya relatif lebih sempit, sedangkan pengurai PLA sangat jarang dan jumlahnya sangat sedikit (Pranamuda *et al.* 1995).

Sampai saat ini belum ada studi mengenai penyebaran mikrob pengurai plastik biodegradabel di lingkungan tropik seperti Indonesia. Studi ini penting dilakukan karena pemakaian plastik yang dapat diuraikan secara hayati di masa datang diperkirakan akan meluas, seiring dengan meningkatnya kesadaran masyarakat dunia akan pentingnya konservasi lingkungan. Penelitian ini bertujuan mengetahui seberapa jauh lingkungan tropik dapat menguraikan plastik dengan melakukan skrining mikrob pengurai plastik (PHB, PCL, PBS, dan PLA).



Gambar 1. Struktur kimia polyester: a. poli- ϵ -kaprolakton (PCL), b. poli- β -hidroksi butirat (PHB), c. polibutilen suksinat (PBS), dan d. poliasam laktat (PLA).

* Penulis untuk korespondensi, Tel. 62-21-7560562 Pes. 1544,
Fax. 62-21-7560208, E-mail: hrp0605@hotmail.com

BAHAN DAN METODE

Bahan Plastik. Bubuk PHB, PCL, PBS, dan PLA masing-masing diperoleh dari Mitsubishi Gas Chemicals Co. (Japan), Union Carbide Co. (USA), Showa High Polymer (Japan), dan Shimadzu Co. (Japan).

Contoh Tanah. Dua belas contoh tanah pada kedalaman lima sentimeter dibawah permukaan tanah. Diambil dari beberapa tempat berbeda di kawasan Puspiptek, Serpong.

Media. Pembuatan media agar-agar beremulsikan plastik mengikuti prosedur Nishida & Tokiwa (1993). Sebanyak satu gram polimer plastik yaitu PCL, PBS, dan PLA dilarutkan ke dalam 50 ml CH_2Cl_2 , dan kemudian diemulsikan menggunakan sonikator ke dalam satu liter media dasar yang terdiri atas 100 mg ekstrak khamir; $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$; 1 g MgSO_4 ; 200 mg $7\text{H}_2\text{O}$; 100 mg NaCl ; 20 mg $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 10 mg $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 0.5 mg $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 0.5 mg $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 0.5 mg MnSO_4 ; 1.6 g K_2HPO_4 ; 200 mg KH_2PO_4 ; surfaktan *Plysurf*, 50 mg. Evaporasi dilakukan untuk menghilangkan CH_2Cl_2 dari media menggunakan evaporator putar pada suhu 40°C selama 15 menit. Agar-agar sebanyak 20 g ditambahkan ke dalam media teremulsi (pH 7.2), media disterilkan dalam autoklaf selama 15 menit, kemudian dituangkan ke dalam cawan (diameter 90 mm). Metode ini dipakai untuk menyiapkan media agar-agar beremulsikan PCL, PBS, dan PLA, sedangkan untuk PHB dilakukan pencampuran langsung bubuk PHB ke dalam media dasar karena PHB sukar larut dalam CH_2Cl_2 .

Penapisan Mikrob Pengurai Plastik. Satu gram contoh tanah disuspensi dalam lima mililiter air steril dan diencerkan menjadi 10^4 , 10^5 , 10^6 . Sebanyak 0.2 ml suspensi tanah dari masing-masing pengenceran disebar pada cawan beremulsikan plastik PHB, PCL, PBS, dan PLA. Inkubasi dilakukan pada suhu 30°C. Koloni yang tumbuh (bakteri, actinomiset, dan cendawan) dan zona terang yang terbentuk diamati dan dihitung jumlahnya secara kumulatif selama 30 hari. Sebagai perbandingan, suspensi tanah juga disebar pada cawan berisikan media agar-agar *nutrient broth* (Difco).

Penguburan Plastik. Film plastik PHB, PCL, PBS, dan PLA disiapkan dengan metode *heat-press*, resin plastik dipanaskan pada suhu di atas titik leleh masing-masing polimer dan tekanan 150 kgf/cm². Dengan metode ini didapat film plastik dengan ketebalan kurang lebih 500 μm . Penguburan plastik dilakukan mengikuti Pranamuda *et al.* (1996). Sebanyak 0.2 g film plastik dikubur dengan kedalaman 20 cm di bawah permukaan tanah selama 3, 6, dan 12 bulan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

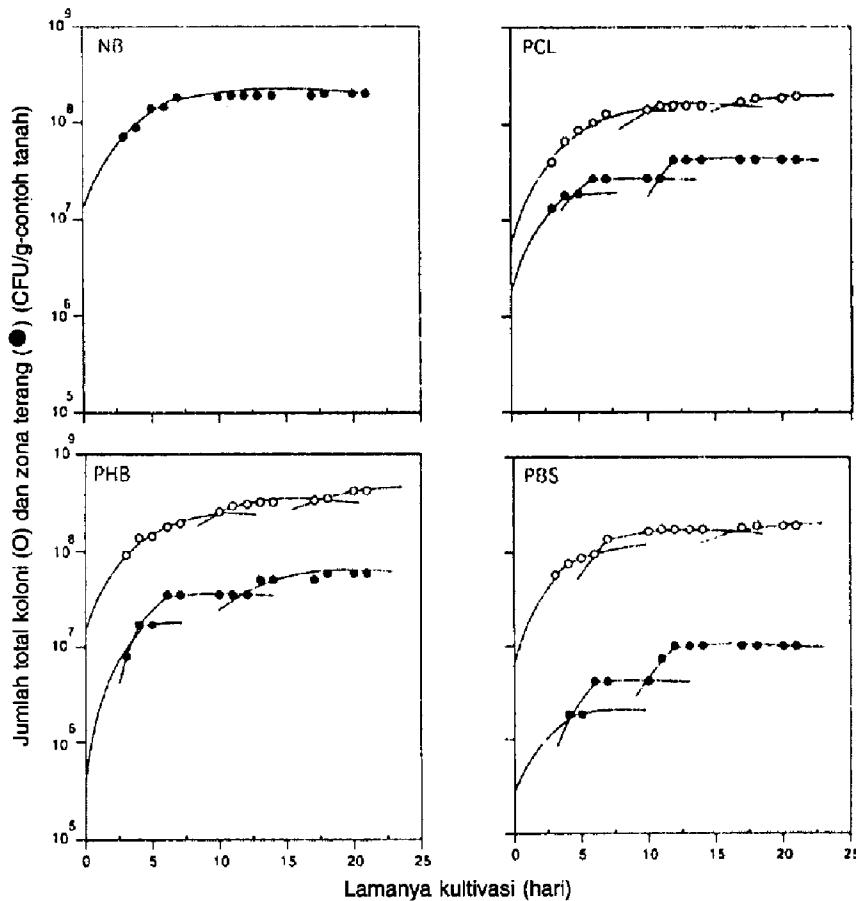
Metode zona terang adalah metode yang mudah dan efektif untuk mengetahui penguraian polimer plastik (Nishida & Tokiwa 1993). Zona terang yang terbentuk di sekitar koloni mikrob menunjukkan mikrob tersebut mampu mengeluarkan enzim yang dapat melarutkan emulsi plastik, seperti terlihat dalam Gambar 2. Pada penelitian ini mikrob yang diamati berupa



Gambar 2. Zona terang terbentuk disekitar koloni mikrob yang mempunyai kemampuan untuk menguraikan plastik biodegradabel.

bakteri, actinomiset dan cendawan. Kurva pembentukan koloni dan zona terang dapat dilihat pada Gambar 3. Hasil penghitungan jumlah koloni yang terbentuk selama 25 hari pada media agar-agar berisikan NB ialah 10^8 , demikian pula jumlah koloni yang terbentuk pada media beremulsikan plastik PCL, PHB, dan PBS juga pada orde kepangkatan yang sama. Hal ini menunjukkan bahwa emulsi plastik tidak berpengaruh negatif terhadap pembentukan koloni. Pertambahan jumlah koloni dan zona terang pada media beremulsikan plastik terjadi bertingkat tiga, keadaan ini menandakan adanya tiga kelompok mikrob dengan laju pertumbuhan yang berbeda.

Dari 12 contoh tanah yang diuji, pada seluruh contoh teramati adanya pembentukan zona terang pada media PCL, PHB, dan PBS, tetapi tidak satupun contoh tanah yang menunjukkan adanya pembentukan zona terang pada media PLA (Gambar 4). Hasil ini serupa dengan hasil penelitian Tansengco & Tokiwa (1998) yang menggunakan contoh tanah dari daerah subtropik. Terlihat bahwa perbandingan atau nisbah antara jumlah mikrob pengurai PHB dan PCL dengan total koloni berkisar antara 1 sampai dengan 80%, sedangkan nisbah mikrob pengurai PBS terlihat lebih sempit, yaitu antara 0.1% sampai 10%. Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa nisbah jumlah mikrob pengurai poliester terhadap jumlah total mikrob menurun dengan urutan PCL, PHB, PBS, dan PLA. Pranamuda *et al.* (1997) melaporkan bahwa nisbah jumlah mikrob pengurai PLA pada contoh tanah yang diambil dari berbagai tempat di kota Tsukuba (Jepang) sangat kecil, yaitu di bawah 0.04%. Tokiwa *et al.* (1986) melaporkan bahwa tingkat degradabilitas poliester alifatik hasil sintesis kimia oleh lipase menurun seiring dengan naiknya titik leleh. Dan tingginya titik leleh suatu poliester ditentukan oleh kuatnya interaksi antarrantai polimer. Ketidakmampuan lipase dalam menguraikan poliester disebabkan karena ketidak mampuan dalam menyediakan energi yang cukup untuk memutus ikatan antarrantai polimer tersebut. Jika dilihat dari titik lelehnya, PCL, PBS, dan PLA mempunyai titik leleh masing-masing sebesar 60°C, 115°C, dan 178°C. Poli-ε-kaprolakton dengan titik leleh yang rendah mempunyai tingkat degradabilitas yang tinggi, sedangkan PLA dengan titik leleh yang tinggi mempunyai tingkat degradabilitas yang rendah (Tokiwa *et al.* 1986). Titik leleh PHB juga tinggi yaitu 180°C, namun karena PHB

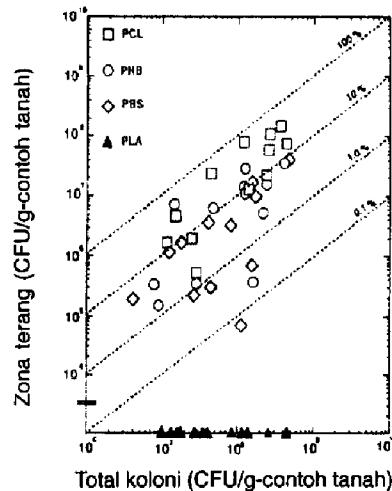


Gambar 3. Grafik pembentukan koloni dan zona terang pada media agar-agar kaya nutrisi (NB), poli- ϵ -kaprolakton (PCL), poli- β -hidroksi butirat (PHB), dan poli butilen suksinat (PBS).

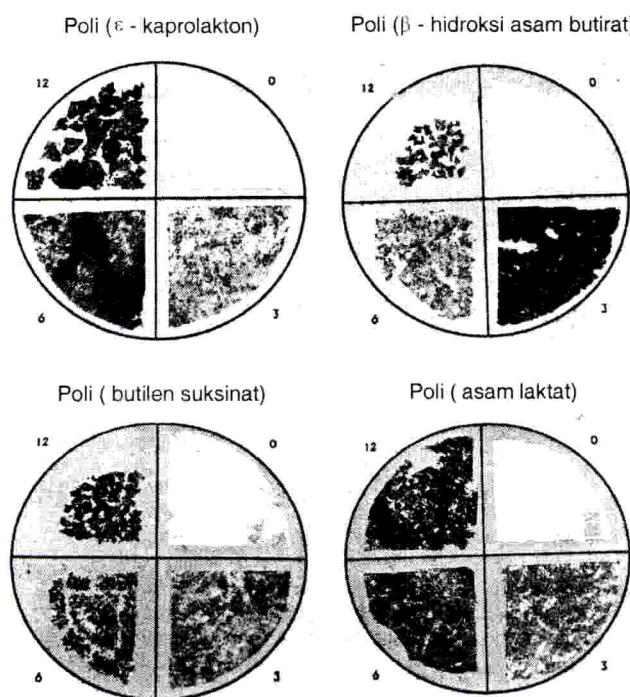
merupakan poliester alam yang diproduksi oleh mikrob sebagai cadangan makanan maka banyak mikrob di alam mampu menguraikan PHB. Penguraian PCL oleh *Penicillium* sp. menghasilkan produk degradasi asam ϵ -hidroksikaproat (Tokiwa *et al.* 1976), penguraian PHB menghasilkan asam R-(ϵ)-3-hidroksibutirat (Poirier *et al.* 1995), sedangkan penguraian PBS oleh aktinomiset (*Amycolatopsis* sp.) menghasilkan produk degradasi seperti 1,4-butandiol, asam 4-hidroksi butirat, dan asam suksinat (Pranamuda *et al.* 1995). Penguraian PLA oleh *Amycolatopsis* sp. menghasilkan produk degradasi asam laktat dan beberapa oligomer yang sulit diasimilasi (Pranamuda *et al.* 1997).

Gambar 5 memperlihatkan hasil penguburan film plastik biodegradabel. Seluruh film mengalami perubahan bentuk setelah penguburan selama 12 bulan. Perubahan bentuk ini dapat disebabkan karena penguraian oleh organisme tanah, maupun hidrolisis secara kimia. Pranamuda *et al.* (1999) mengemukakan bahwa PBS dan PLA mudah terhidrolisis secara kimia dibandingkan dengan PCL, terlihat dengan adanya penurunan bobot molekul sebesar 75% untuk film PLA dan 40% untuk film PBS setelah direndam dalam air bersuhu 60°C selama empat minggu. Perubahan morfologi film PHB sangat nyata (Gambar 5) dan nisbah mikrob pengurai PHB yang cukup besar (Gambar 4). Hal ini menandakan bahwa PHB mudah

terdegradasi di alam karena memang PHB merupakan polimer alam yang diproduksi oleh bakteri. Lambat dan rendahnya tingkat degradasi PLA disebabkan karena sedikitnya jumlah mikrob yang dapat menguraikan PLA di alam.



Gambar 4. Grafik hubungan antara jumlah total koloni dan jumlah zona terang yang terbentuk pada media agar-agar beremulsikan poli- ϵ -kaprolakton (PCL), poli- β -hidroksi butirat (PHB), polibutilen suksinat (PBS), dan poliasam laktat (PLA) dalam satuan pembentukan koloni (CFU/gram contoh tanah).



Keterangan: Angka menunjukkan lamanya penguburan (bulan)

Gambar 5. Perubahan bentuk film plastik poli- ϵ -kaprolakton, poli- β -hidroksi butiran, poli butilen suksinat, dan poli asam laktat setelah penguburan film plastik selama 0, 3, 6, dan 12 bulan.

DAFTAR PUSTAKA

- BPS-Japan. 1996. *Era of New Plastic Material*. Tokyo: Biodegradable Plastic Society of Japan.
- Doi, Y. 1990. *Microbial Polyesters*. New York: VCH.
- Nishida, H. & Y. Tokiwa. 1993. Distribution of poly- β -hydroxybutyrate and poly- ϵ -caprolactone aerobic degrading microorganisms in different environments. *J. Environ. Polym. Degrad.* 1:227-233.
- Poirier, Y., C. Nawrath & C. Somerville. 1995. Production of polyhydroxyalkanoates, a family of biodegradable plastics and elastomers, in bacteria and plants. *Biotechnology* 13:142-150.
- Pranamuda, H., Y. Tokiwa & H. Tanaka. 1995. Microbial degradation of an aliphatic polyester with a high melting point, poly(tetramethylene succinate). *Appl. Environ. Microbiol.* 61:1828-1832.
- Pranamuda, H., Y. Tokiwa & H. Tanaka. 1996. Physical properties and biodegradability of blends containing poly- ϵ -caprolactone and tropical starches. *J. Environ. Polym. Degrad.* 4:1-7.
- Pranamuda, H., Y. Tokiwa & H. Tanaka. 1997. Polylactide degradation by an *Amycolatopsis* sp. *Appl. Environ. Microbiol.* 63:1637-1640.
- Pranamuda, H., R. Cholakkup & Y. Tokiwa. 1999. Degradation of polycarbonate by a polyester-degrading strain, *Amycolatopsis* sp. strain HT-6. *Appl. Environ. Microbiol.* 65:4220-4222.
- Tansengco, M.L. & Y. Tokiwa. 1998. Comparative population study of aliphatic-polyesters-degrading microorganisms at 50°C. *Chem. Lett.* 1998:1043-1044.
- Tokiwa, Y., T. Ando & T. Suzuki. 1976. Degradation of polycaprolactone by a fungus. *J. Ferment. Technol.* 54:603-608.
- Tokiwa, Y. & T. Suzuki. 1977. Hydrolysis of polyesters by lipases. *Nature* 270:76-78.
- Tokiwa, Y., T. Suzuki & K. Takeda. 1986. Hydrolysis of polyesters by *Rhizopus arrhizus* lipase. *Agric. Biol. Chem.* 50:1323-1325.