

Kajian Biodegradasi Film Plastik Campuran Polistiren Dengan Poli (3-Hidroksibutirat) Dalam Tanah

Melzi Octaviani¹, Erizal Zaini¹, dan Akmal Djamaan,^{1,2}

¹⁾ Fakultas Farmasi Universitas Andalas-Padang,

²⁾ Laboratorium Bioteknologi Biota Sumatera - Universitas Andalas-Padang

ABSTRACT

The degradation of a plastic film containing polymer synthetic polystyrene (PS) and biopolymer poly(3-hydroxybutyrate) [P(3HB)] in soil has been carried out based on soil burial test. Results showed that the amount of P(3HB) in plastic film containing PS and P(3HB) influenced the degradation rate of plastic film. The rate degradation was measured using linear regression equality to obtain parameters the slope (k), half-time of degradation (t 50%), and the shelf life (t 95%). Degradation of plastic film such as occurred in soil with ratio PS/P(3HB) 85:15 with $k = 0,90$ %/week, $t_{50\%} = 55,13$ weeks and $t_{95\%} = 105,29$ weeks, followed by PS/P(3HB) 90:10 and PS/P(3HB) 95:15. In contrast, plastic film made from pure PS (100:0) occurred slowly with slope of $(k) = 0,14$ %/week, $t_{50\%} = 345,07$ weeks, and $t_{95\%} = 655,63$ weeks. Results of SEM test showed that damage occurred and erosion at surface of plastic film observed during studied at various condition.

Key words: biodegradation, polystyrene, poly(3-hydroxybutyrate), plastic film.

Diterima : Maret 2012, disetujui untuk diterbitkan : April 2013

PENDAHULUAN

Plastik merupakan bahan polimer sintetik yang banyak digunakan dalam kehidupan manusia. Hampir setiap produk menggunakan plastik sebagai kemasan atau bahan dasar karena plastik mempunyai keunggulan seperti ringan tetapi kuat, transparan, tahan air serta harganya relatif murah dan terjangkau oleh semua kalangan masyarakat (Darni et al., 2008). Setiap tahun sekitar 100 juta ton plastik kemasan sintetik diproduksi dunia untuk digunakan di berbagai sektor industri, dan kira-kira sebesar itulah sampah plastik yang dihasilkannya (Djamaan, 2011).

Pemakaian plastik yang dapat diuraikan (*biodegradable plastic*) atau ramah lingkungan adalah salah satu jalan keluarnya. Plastik ini dapat diperoleh melalui biosintesa secara fermentasi menggunakan mikroorganisme penghasil poli(3-hidroksialkanoat), P(3HA). Sampai saat ini telah diketahui lebih dari 300 jenis mikroorganisme yang dapat menghasilkan P(3HA) di dalam selnya. Di antara P(3HA), polimer poli(3-hidroksibutirat) [P(3HB)] adalah yang paling banyak diteliti, karena P(3HB) mempunyai sifat mudah terurai dalam jangka waktu tertentu bila dibuang ke lingkungan (Majid et al., 1999).

Penggunaan biopolimer P(3HB) secara luas masih terbatas, hal ini disebabkan P(3HB) memiliki sifat mudah pecah dan rapuh sehingga menjadi kendala dalam penggunaannya secara konvensional untuk menggantikan plastik sintetik (Djamaan, 2011). Untuk mengatasi permasalahan ini telah dilakukan penelitian secara luas untuk

memperbaiki sifat fisika P(3HB). Salah satu cara yang dilakukan adalah dengan membuat bentuk campuran P(3HB) dengan polimer sintetik lain, untuk mendapatkan film plastik yang kuat dan elastis tetapi terurai di lingkungan.

Polistiren (PS) merupakan salah satu jenis polimer yang banyak digunakan bersifat kaku, keras, berwarna putih dan sulit terbiodegradasi oleh mikroorganisme (*nonbiodegradable*). Polistiren foam dikenal luas dengan istilah styrofoam, banyak digunakan sebagai bahan tempat makan, tempat minum sekali pakai, bahan pelindung dan penahan getaran barang yang *fragile*, seperti elektronik. Kemasan plastik jenis polistiren sering menimbulkan masalah pada lingkungan karena bahan ini sulit mengalami biodegradasi dan sulit didaur ulang (Swift, 1994).

Uji penguraian film plastik campuran polistiren dengan P(3HB) dalam tanah dilakukan agar dapat diketahui kecepatan penguraian film plastik. Tujuan ini dapat diaplikasikan untuk mengatasi masalah pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh sampah-sampah plastik yang tidak dapat terurai di lingkungan. Dengan demikian limbah-limbah plastik nantinya dapat dimusnahkan dan tidak menyebabkan pencemaran lingkungan. Penguraian yang terjadi ditentukan dengan menghitung persentase kehilangan berat dari film plastik yang diuji dalam selang interval waktu tertentu.

METODE PENELITIAN

Sampel

Sampel P(3HB) telah diperoleh dalam bentuk serbuk P(3HB) yang dihasilkan dari *Erwinia sp.* USMI-20 yang telah dimurnikan oleh peneliti sebelumnya (Djamaan et al., 2003). Polistiren (PS) diperoleh dari bahan styrofoam yang banyak digunakan sebagai bahan pelindung dan penahan getar barang elektronik dengan kode PS-6 sesuai dengan aturan kemasan plastik. Polistiren dan biopolimer ditimbang, dilanjutkan dengan pembuatan filem plastik dari masing-masing perbandingan. PS dimasukkan ke dalam gelas piala kemudian ditambahkan 10 mL kloroform dan dipanaskan di atas *hot plate* sampai larut dan mendidih. Setelah itu, ditambahkan P(3HB) ke dalam gelas piala yang sama dan diaduk sampai homogen. Selanjutnya, dituangkan ke dalam cawan petri dan dibiarkan kering pada suhu ruang sehingga diperoleh filem plastik. Filem plastik yang terbentuk ditimbang beratnya. Plastik yang diperoleh dari setiap cawan petri dipotong dengan ukuran 1,5 x 1,5 cm dan ditimbang berat masing-masing potongan plastik tersebut. Potongan plastik ini merupakan sampel yang akan diuji penguraiannya. Untuk setiap pengujian pada setiap perbandingan dilakukan dua kali pengulangan (duplo).

Media

Tanah diambil lebih kurang sebanyak 10 kg dari Kebun Tanaman Obat (KTO), Kampus Unand, Limau Manis, Padang.

Kondisi percobaan

Pengujian dilakukan dengan metode penanaman sampel dalam tanah (*soil burial test*) (Tokiwa et al., 1994). Media tanah dimasukkan ke dalam nampan plastik. Filem plastik dengan ukuran 1,5 cm x 1,5 cm dari masing-masing perbandingan dimasukkan ke dalam media pengujian. Setelah periode waktu tertentu sampel diangkat dari tempat perlakuan, dibersihkan dengan air suling dan dikeringkan sampai berat konstan, kemudian ditimbang berat filem plastik yang tersisa. Periode waktu pengambilan filem plastik adalah minggu pertama, kedua, ketiga, keempat, dan kelima. Data penunjang lainnya juga dilakukan pengukuran pH dengan pH meter elektrometrik dan penentuan Angka Lempeng Total (ALT) bakteri yang tumbuh dalam media NA dari suatu sampel yang telah diencerkan terlebih dahulu (Majied et al., 1999).

Dihitung jumlah koloni yang tumbuh dan dikalikan dengan faktor pengencerannya. Hasilnya dinyatakan sebagai Angka Lempeng Total (ALT) dalam tiap gram atau tiap mL sampel.

Analisis Data

Dari data yang diperoleh dibuat profil penguraian pada selang waktu pengambilan sampel (minggu) terhadap persen penguraian plastik dari masing-masing media. Dilihat pengaruh dari pencampuran polistiren dengan P(3HB) terhadap lamanya penguraian pada berbagai media yang digunakan dibandingkan dengan filem polistiren murni. Dihitung laju penguraiannya dengan menggunakan persamaan regresi linear dan parameternya yang meliputi waktu penguraian 50% ($t_{50\%}$) dan waktu penguraian mendekati 100% ($t_{95\%}$) dari filem plastik campuran polistiren dengan P(3HB) dibandingkan dengan polistiren murni.

Hasil dan Pembahasan

Sampel bioplastik yang digunakan dalam penelitian ini, dibuat dalam bentuk campuran PS dan P(3HB) dengan teknik *blending* yang diikuti dengan penguapan pelarut (*Solven Casting*). Dalam hal ini PS mewakili plastik sintesis yang berasal dari minyak bumi dan P(3HB) mewakili bioplastik yang dibuat dengan cara fermentasi menggunakan bakteri tertentu. Proses pencampuran dilakukan dalam keadaan terlarut dalam kloroform dan dalam keadaan mendidih sambil dikocok agar didapatkan plastik filem yang homogen (Majid et al., 1999).

Penggunaan komponen P(3HB) agar didapatkan filem plastik yang tetap kuat dan kaku seperti halnya polistiren murni, namun dapat dipercepat penguraiannya dengan adanya P(3HB). Di samping pertimbangan sifat fisika tersebut, dalam percobaan ini penambahan biopolimer dibatasi maksimum 15% b/b, agar tidak terlalu menaikkan biaya produksinya, karena harga P(3HB) untuk saat ini relatif tinggi. Dengan demikian, apabila filem plastik ini suatu saat diproduksi dalam skala besar oleh industri, harganya masih terjangkau dan bersaing dengan plastik sintesis biasa.

Filem plastik yang dihasilkan dari campuran plastik sintetik PS dengan bioplastik P(3HB) dalam berbagai formula (100:0, 95:5, 90:10, 85:15). Filem plastik berwarna putih agak keruh dengan ketebalan rata-rata 0,2 mm seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Filem plastik yang dihasilkan dari campuran PS/P(3HB) dengan berbagai perbandingan

Pada percobaan ini, pengujian biodegradasi dilakukan pada media lingkungan yaitu tanah. Media ini dipilih karena mewakili kondisi lingkungan di alam sehingga dapat diketahui kecepatan penguraian film plastik campuran polistiren dan P(3HB) dalam media tanah. Pengujian biodegradasi film plastik ini dilakukan di laboratorium karena bila dilakukan pengujian langsung di alam terbuka (*in-situ*) akan sangat sulit mengontrol keamanan dari sampel-sampel uji dan ada kemungkinan sampel hilang dimakan oleh hewan yang berada disekitar lingkungan pengujian. Di samping itu, kondisi cuaca seperti panas dan hujan juga tidak bisa dikontrol yang juga akan mempengaruhi kecepatan penguraian sampel film plastik yang diuji. Uji biodegradasi film plastik campuran PS dan P(3HB) dengan formula yang berbeda-beda yaitu 0-15% komponen bioplastik untuk melihat sejauh mana pengaruh penambahan komponen P(3HB) terhadap kecepatan penguraian film plastik tersebut, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.

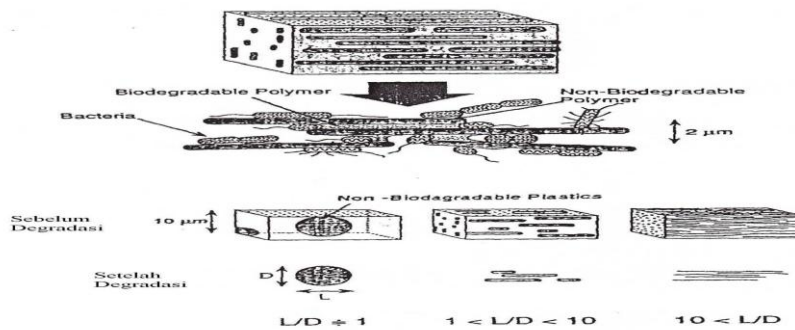
Dari Gambar 3 terlihat bahwa berdasarkan waktu penguraian 50 % (t_{50}) dan waktu penguraian mendekati penguraian total (t_{95}) dari sampel dengan perbandingan yang sama dalam media pengujian tanah akan memberikan nilai yang berbeda pula. Pada perbandingan PS dan P(3HB) yang digunakan, menunjukkan bahwa pada perbandingan 85:15 akan lebih cepat mencapai waktu penguraian 50% (t_{50}) dibandingkan dengan perbandingan lainnya, dimana perbandingan 85:15 < 90:10 < 95:5 < 100:0. Hal ini disebabkan karena pada perbandingan 85:15 mengandung komponen biopolimer P(3HB) yang paling banyak dari film plastik lain. Sebaliknya pada polistiren murni mengalami penguraian yang paling lambat.

Data lengkap perbandingan konstanta laju penguraian (k), waktu penguraian 50 % (t_{50}) dan waktu penguraian 95 % (t_{95}) pada berbagai media pengujian ditunjukkan pada Tabel 1.



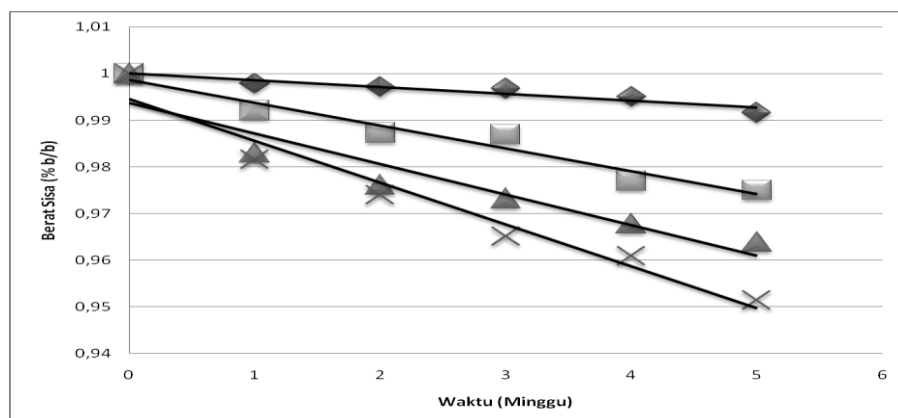
Gambar 2. Proses pengujian biodegradasi film plastik campuran PS dan P(3HB) dalam media tanah

penguraian 50% (t_{50}), waktu penguraian 95% (t_{95}) dari masing-masing film tersebut. Data ini dapat digunakan untuk menghitung secara teoritis berapa lama film-film plastik dengan formula yang berbeda tersebut hancur separuhnya (50% b/b) dan mendekati penguraian



Gambar 3. Model penguraian film plastic campuran *biodegradable polymer* dan *nonbiodegradable polymer*

total (t_{95} b/b). Dalam penghitungan ini tidak digunakan parameter habis sama sekali (t_{100} b/b), karena secara teoritis film plastik tersebut tidak akan pernah habis seratus persen, karena plastik tersebut akan tetap ada walaupun dalam bentuk fragmen-fragmen kecil .



Gambar 4. Profil laju penguraian film plastik campuran polistiren (PS) dan P(3HB) pada berbagai perbandingan dalam berbagai media pengujian (A) PS dan P(3HB) dalam tanah

Keterangan : ♦ = 100:0 ■ = 95:5 ▲ = 90:10 × = 85:15

Tabel 1. Perbandingan konstanta laju penguraian, waktu penguraian 50% dan waktu penguraian 95% film plastik campuran PS dengan P(3HB) pada berbagai tempat pengujian penguraian

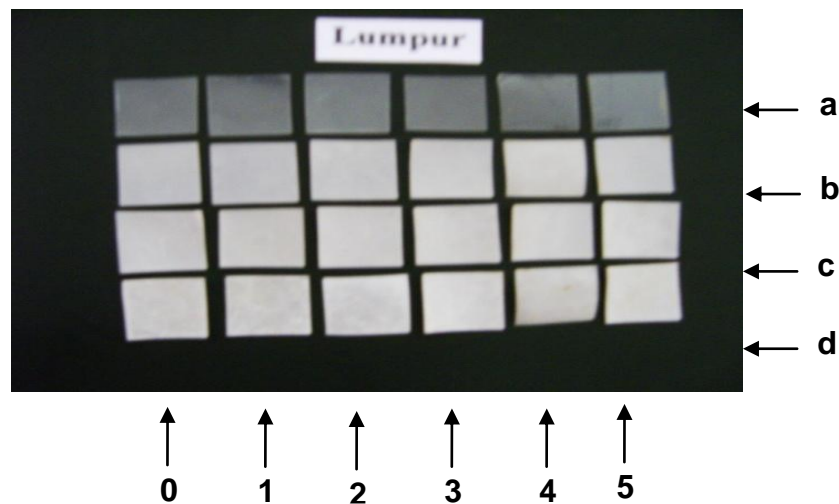
No.	Parameter Penguraian	Media Pengujian Tanah
1	PS murni • k (%/minggu) • t 50 % (minggu) • t 95 % (minggu)	0,14 345,07 655,63
2	PS dan P(3HB) 95:5 • k (%/minggu) • t 50 % (minggu) • t 95 % (minggu)	0,49 102,11 194,27
3	PS dan P(3HB) 90:10 • k (%/minggu) • t 50 % (minggu) • t 95 % (minggu)	0,65 75,45 144,23
4	PS dan P(3HB) 85:15 • k (%/minggu) • t 50 % (minggu) • t 95 % (minggu)	0,90 55,13 105,29

Pada perbandingan biopolimer yang lebih besar (85:15) dalam campuran film plastik di dalam tanah akan mengalami penguraian t 50% dan t 95% yang lebih cepat dibandingkan dengan perbandingan lainnya. Hal ini disebabkan karena mengandung komponen biopolimer P(3HB) yang paling banyak dibandingkan dengan perbandingan lain. P(3HB) merupakan biopolimer yang mengalami penguraian seratus persen apabila dibuang ke lingkungan (Tokiwa et al., 1994), sehingga dengan adanya komponen tersebut dalam film plastik yang diuji akan menyebabkan penguraian yang lebih cepat dibandingkan dengan polistiren murni.

Kecepatan penguraian film plastik juga dapat diketahui dari pengujian angka lempeng total, sehingga dapat diketahui jumlah koloni bakteri yang terdapat di dalam media pengujian. Data kerapatan populasi bakteri ini mempunyai korelasi positif

dengan terjadinya pengurangan berat dari sampel film plastik yang diuji (Woll, 1994). Ditemui bahwa semakin banyak populasi bakteri di dalam media uji, maka akan semakin cepat penguraian terjadi. Pada penelitian ini jumlah populasi mikroba dalam media pengujian tanah sebanyak $2,57 \times 10^6$ koloni/g. Hasil yang hampir sama juga dilaporkan oleh peneliti sebelumnya yang melakukan pengujian biodegradasi dari sampel film plastik P(3HB) dan kopolimernya P(3HB-ko-HV) (Madjid et al, 1999).

Penguraian film plastik tersebut dapat diketahui dari berkurangnya berat awal film plastik. Pada gambar foto film plastik campuran PS/P(3HB) yang diambil dengan kamera digital, dapat terlihat adanya perubahan film yang belum diuraikan dengan yang telah diuraikan dalam waktu tertentu yang ditandai dengan perubahan warna, timbulnya bintik-bintik putih pada permukaan film dan lebih tipis akibat penguraian seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Profil film plastik campuran PS dan P(3HB) dengan berbagai perbandingan dalam tanah

Keterangan : a = PS murni

b = perbandingan PS/P(3HB) 95:5

c = perbandingan PS/P(3HB) 90:10

d = perbandingan PS/P(3HB) 85:15

0 = film plastik sebelum uji penguraian

1 = film plastik setelah penguraian minggu ke-1

2 = film plastik setelah penguraian minggu ke-2

3 = film plastik setelah penguraian minggu ke-3

4 = film plastik setelah penguraian minggu ke-4

5 = film plastik setelah penguraian minggu ke-5

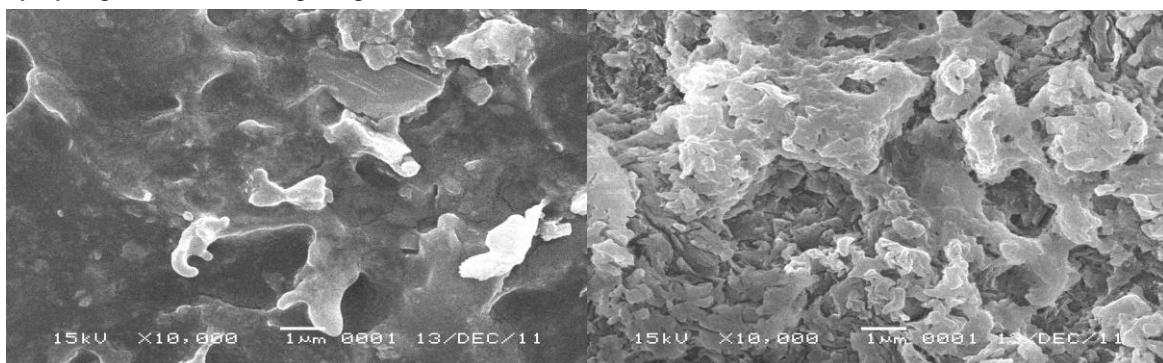
Untuk melihat lebih jelas bentuk pengikisan permukaan film plastik dapat diamati dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Dari gambar SEM dapat terlihat jelas perbandingan antara film plastik sebelum pengujian dengan setelah pengujian. Dengan bertambahnya komponen P(3HB) dari film plastik yang diuji terlihat kerusakan dari serat polimer bertambah banyak, ditandai dengan munculnya lobang-lobang yang terbuka diantara serat-serat. Ini terjadi akibat pengaruh enzim depolimerase yang dihasilkan oleh bakteri yang menguraikan komponen P(3HB) dari film tersebut, seperti yang dipaparkan pada Gambar 6.

bermanfaat untuk mengurangi pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh plastik sintetis. Plastik campuran plastik sintetis dan bioplastik yang diteliti ini mempunyai prospek yang cerah untuk dikembangkan sebagai bahan kemasan produk-produk kemasan farmasi, seperti obat, makanan, minuman dan kosmetika serta produk lainnya yang lebih ramah lingkungan.

Dibandingkan dengan plastik sintetis, film plastik campuran PS dan P(3HB) ini memperlihatkan sifat penguraian yang lebih baik dibandingkan dengan polistiren murni. Jadi hasil penelitian ini sangat bermanfaat untuk mengurangi pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh plastik sintetis. Plastik campuran plastik sintetis dan bioplastik yang diteliti ini mempunyai prospek yang cerah untuk dikembangkan sebagai bahan kemasan produk-produk kemasan farmasi, seperti obat, makanan, minuman dan kosmetika serta produk lainnya yang lebih ramah lingkungan.

KESIMPULAN

Dari penelitian ini ditunjukkan bahwa perbandingan komponen P(3HB) berpengaruh terhadap kecepatan penguraian film plastik campuran plastik sintetis dan biopolimer. Bertambah besar perbandingan dan P(3HB) dalam film plastik, maka penguraiannya semakin cepat



Sebelum Penguburan

Setelah 5 Minggu Penguburan

Gambar 6. Profil SEM dari permukaan film plastik PS/P(HB) 85:15 sebelum dan setelah penguburan di dalam tanah selama 5 minggu

Perbandingan antara polistiren dan P(3HB) yang paling cepat mengalami penguraian adalah perbandingan 85:15. Filem plastik yang paling cepat penguraiannya dalam tanah adalah filem plastik dengan perbandingan PS dan P(3HB) 85:15, dimana waktu penguraian mencapai 50% b/b (t 50%) adalah 55,13 minggu. Laju penguraian filem plastik rata-rata 0,49% b/b/minggu (perbandingan 95:5), 0,65% b/b/minggu (perbandingan 90:10), 0,90 % b/b/minggu (perbandingan 85:15).

DAFTAR PUSTAKA

- Darni Y, Chici A, Ismiyati SD. Seminar Nasional Sains dan Teknologi-II: Sintesa bioplastik dari pati pisang dan gelatin dengan plasticizer gliserol. Lampung: Universitas Lampung; 2008.
- Djamaan A. Konsep Produksi Biopolimer P(3HB) dan P(3HB-ko-3HV) secara Fermentasi. Padang: Andalas University Press; 2011.
- Majid MIA, Hori K, Aklyama M, Doi Y. Production of Poly(3-Hydroxybutyrate) from Plant Oil by *Alcaligenes* sp. *Biodegradable Plastics and Polymers*. Elsevier Science B. V Amsterdam; 1994. P. 417-424.
- Djamaan A. Penghasilan dan Pencirian P(3HB) dan P(3HB-ko-3HV) dari berbagai sumber karbon oleh *Erwinia* sp USMI-20. [Tesis S-3]. Penang: Universiti Sains Malaysia; 2004.
- Swift G. Expectation for biodegradation testing methods. *Biodegradable Plastics and Polymers* (Eds. Doi Y and Fukuda K.). Elsevier Journal of Science. B. V. Amsterdam; 1994. 228-249.
- Djamaan A, Azizan MN, Majid MIA. Biodegradation of Microbial Polyesters P(3HB) and P(3HB-co-3HV) under The Tropical Climate Environment. *Int. J. Polym. Dedrad. Stab* 2003; 80: 513-518.
- Tokiwa, Y., Ando, T. & Suzuki, T. 1994. Degradation of Polycaprolactone by Fungus. *J. Ferment. Technol*, 54, 603-608.
- Madjid MIA, Djamaan A, Few LL, Agustien A, Toh MS, Samian MR, Najimudin N, Azizan MN. Production of Poly(3-hydroxybutyrate) and its Copolymer Poly(3-Hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) by *Erwinia* sp. USMI-20. *Halicl* 1999; 25: 1-10.
- Wool RP. Perspectives on Standart Test Methods for Biodegradable Plastic. *Biodegradable Plastics and Polimers* (Eds. Doi. Y and Fukuda. K.). Elsevier Journal of Science. B.V. Amsterdam; 1994.