

PRODUKSI SENYAWA BIOPLASTIK POLI(3-HIDROKSIBUTIRAT) DARI MINYAK KELAPA SAWIT SECARA FERMENTASI

**[The production of a bioplastic poly(3-hydroxybutirate)
from palm oil by fermentation]**

**Akmal Djamaan, Novesar Jamarun dan Anthoni Agustien
Fakultas MIPA Universitas Andalas**

ABSTRAK

Dalam percobaan ini telah diproduksi senyawa bioplastik poli(3-hidroksi-butirat), P(3HB) dari minyak kelapa sawit secara fermentasi menggunakan bakteri *Erwinia* sp. USMI-20. Proses fermentasi dijalankan di dalam fermentor berkapasitas 10 liter pada suhu 30 °C, agitasi 200 rpm, pH 7 dan aerasi 40 % v/v selama 48 jam. Setelah masa pengkulturan cairan fermentasi dipusingkan dengan kecepatan 10.000 rpm, sel bakteri dikeringkan dengan alat *freeze drier* dan dari supernatannya ditentukan jumlah minyak kelapa sawit dan amonium bersisa. Polimer diekstrak keluar sel menggunakan kloroform dan dimurnikan. P(3HB) dikarakterisasi sifat fisika, kimia, berat molekul dan dibuat film plastiknya. Hasil percobaan menunjukkan bahwa P(3HB) yang dihasilkan mempunyai suhu lebur 175 °C, suhu peralihan kaca 13 °C, Mw 520-820 kDa, Mn 210-330 kDa dan Mw/Mn 2,3-2,8. Plastik film yang dihasilkan berupa plastik tembus pandang dan mempunyai permukaan yang homogen dilihat dibawah *Scanning Electron Microscope*.

ABSTRACT

The production of a biopolymer poly(3-hydroxybutyrate), P(3HB) from palm oil by *Erwinia* sp. USMI-20 has been studied. Fermentation were conducted at temperature of 30 °C, agitation 200 rpm, pH 7 and aeration 40 % v/v for 48 hours. After fermentation the fermentation medium was sentrifuged at 10.000 rpm, cells were dried in *freeze drier*, palm oil and ammonium remaining were determined. Polymer in the cells was isolated by chloroform, purified dan produced the plastic film. Results showed that the P(3HB) has a melting point temperature at 175 °C, a glass transition temperature 13 °C, Mw 520-820 kDa, Mn 210-330 kDa and Mw/Mn 2,3-2,8. Plastic film of P(3HB) produced as a tranparancy film with homogen surface showed under *Scanning Electron Microscope*.

PENDAHULUAN

Dewasa ini senyawa bioplastik telah banyak digunakan sebagai bahan pembungkus makanan/minuman dan produk farmasi. Salah satu contoh adalah penggunaannya sebagai botol shampoo yang diproduksi oleh Wella (Akmal *et al.*, 2003). Kelompok peneliti di Belanda telah menggunakannya sebagai bahan campuran pembuatan cat dengan kualitas yang tinggi (van der Walle *et al.*, 1999). Dalam bidang farmasi dapat digunakan sebagai matrik pengontrol pelepasan obat (*sustained released drug*). Di Jepang produk biopolimer telah dibuat sebagai helmet untuk pengaman pengendara kendaraan bermotor (Brandl *et al.*, 1995).

Keunggulan senyawa bioplastik dibandingkan dengan plastik sintetis berdasarkan petrokimia ialah karena sifatnya yang mudah terurai (*biodegradable*) oleh mikroorganisma secara alamiah di dalam tanah sehingga tidak akan merusak lingkungan seperti yang banyak ditimbulkan oleh plastik sintetis. Di samping itu senyawa bioplastik dapat dihasilkan dari bahan dasar minyak nabati yang ketersediaannya di alam tidak terbatas dan dapat diperbarui sepanjang masa (*renewable*) (Akmal, 2004)

Teknologi produksi senyawa bioplastik dengan teknik bioteknologi modern, yaitu fermentasi menggunakan bahan dasar minyak nabati selama ini belum sempat terjamah oleh para saintis di negara kita. Ironisnya kita mempunyai sumber daya alam yang sangat melimpah terutama minyak kelapa sawit dan jutaan bakteri penghasil bioplastik yang dapat digali dari tanah Indonesia selama ini tidak termanfaatkan. Di Malaysia dan Jepang penelitian ke

arah ini telah dimulai sejak awal tahun 1990-an dan di Korea ternyata telah dapat memasarkan produknya dengan harga yang dapat bersaing dengan plastik sintetis (Steinbuchel and Fuchtenbusch, 1998; Rehm and Steinbuchel, 1999; Fukui dan Doi, 1998).

Pada kajian terdahulu tahun ke-1 (2003) penulis telah berhasil memproduksi senyawa bioplastik P(3HB) dan menentukan kondisi optimum produksi P(3HB) dari bahan dasar minyak kelapa sawit secara fermentasi (Akmal et al, 2003). Sedangkan pada tahun ke-2 (2004), telah dilakukan produksi bioplastik P(3HB) skala pilot, ekstraksi, pemurnian, karakterisasi sifat fisika, kimia dan berat molekul senyawa bioplastik yang dihasilkan serta pembuatan film plastik P(3HB) dengan teknik solven casting dan blending.

METODE PENELITIAN

a. Produksi bioplastik P(3HB) skala pilot

Produksi bioplastik P(3HB) dalam jumlah lebih besar (skala pilot) akan dilakukan di dalam bioreaktor volume 10 L dengan teknik dan kondisi optimum fermentasi yang telah diperoleh pada percobaan optimasi tahun-1 (2003). Bakteri *Erwinia* sp USMI-20 ditumbuhkan di atas medium NA dalam cawan Petri dan agar miring. Inkubasi dalam inkubator suhu 37°C selama 24-48 jam kemudian disimpan di dalam lemari pendingin sebagai stok bakteri penghasil. Inokulum *Erwinia* sp. USMI-20 dibuat dengan sumber karbon minyak kelapa sawit. Inkubasi dilakukan dalam labu Erlenmeyer volume 500 ml yang diisi dengan 100 ml medium mineral, dengan komposisi seperti telah dikemukakan pada kajian terdahulu (Akmal dan Agustien, 1999b).

Fermentasi dilakukan pada pH 7.0, suhu 30 °C selama 66 jam, dan agitasi 200 rpm. Setiap selang waktu 4 jam sampai, sampai 18 jam dan selang waktu 6 jam setelah 18 jam sampai 66 jam sampel diambil sebanyak 100 ml. Untuk setiap sampel yang diambil dilakukan analisis berupa: berat sel kering, kandungan polimer, konsentrasi polimer, kandungan minyak kelapa sawit tertinggal dan nitrogen tertinggal di dalam medium. Dibuat grafik profil hubungan antara masa inkubasi terhadap biomasa, kandungan polimer, kepekatan polimer, konsumsi minyak kelapa sawit dan nitrogen yang tertinggal di dalam medium. Minyak kelapa sawit tertinggal di dalam medium ditentukan dengan kaedah kromatografi gas, sedang nitrogen tertinggal dengan spektroskopi visibel setelah pewarnaan dengan Barthelot reagen (Akmal *et al*, 1998a; Lee dan Yoo, 1994).

Pada saat waktu optimum fermentasi, proses pengkulturan dihentikan, selanjutnya cairan fermentasinya dipusingkan untuk memperoleh sel bakterinya. Kemudian dilakukan pengeringan sel dengan alat *freeze drier* untuk selanjutnya dilakukan isolasi polimer dari sel.

b. Isolasi dan pemurnian P(3HB) yang dihasilkan.

P(3HB) yang terdapat di dalam sel *Erwinia* sp. USMI-20 setelah pengeringan, diekstrak keluar menggunakan kloroform di dalam alat soklet. Larutan kloroformnya di ambil dan selanjutnya P(3HB) yang terlarut di dalamnya diendapkan dengan penambahan metanol sambil diaduk perlahan-lahan. Resin P(3HB) yang telah mengendap tersebut disaring dengan bantuan pompa vakum dan dikeringkan pada suhu kamar.

c. Karakterisasi polimer P(3HB) yang dihasilkan

Karakterisasi terhadap senyawa P(3HB) yang telah diekstraksi di atas dilakukan dengan teknik kromatografi gasnya dibandingkan dengan P(3HB) standar dan analisis spektrum resonansi magnetik inti (NMR) yaitu: ^{13}C dan ^1H NMR untuk konfirmasi struktur kimia P(3HB) yang dihasilkan dengan metode yang dikemukakan oleh Doi *et al.* (1986a: 1986b).

d. Penentuan sifat termal P(3HB) yang dihasilkan

Ditentukan dengan kaedah *Differential Scanning Calorimetry* untuk suhu lebur (*melting temperature*) (T_m) dan suhu peralihan kaca (*glass transition temperature*) (T_g).

e. Penentuan berat molekul P(3HB) yang dihasilkan.

Berat molekul ditentukan dengan alat kromatografi permeasi gel (GPC) dengan pelarut kloroform dan gas pembawa helium. Ditentukan purata berat berat molekul (M_w), purata-nomor berat molekul (M_n) serta indeks polidispersitinya (M_w/M_n) untuk setiap polimer yang diekstraksi pada berbagai waktu sampling. Sebagai standar digunakan polistirena dengan berbagai macam berat molekul yang telah diketahui. Kurva kalibrasi dari polisterina dikoreksi menggunakan konstanta Mark-Houwink seperti yang dikemukakan oleh Barham *et al.* (1984) dan Majid (1988).

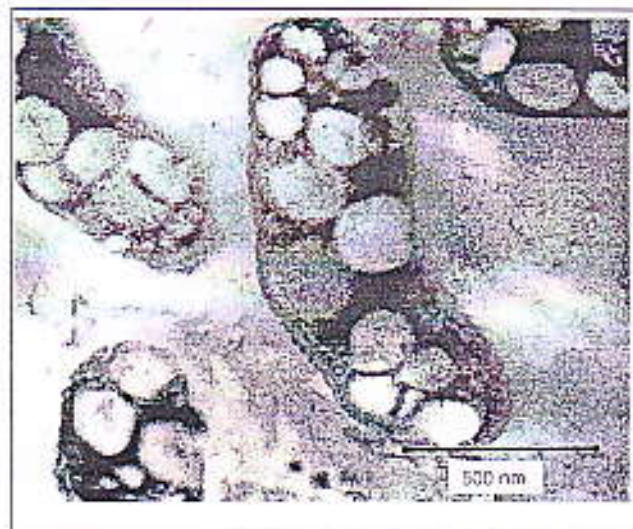
f. Pembuatan plastik filem P(3HB)

Plastik filem dibuat dari P(3HB) yang telah diekstraksi dan dimurnikan. Plastik filem dibuat dengan cara melarutkan serbuk P(3HB) di dalam kloroform

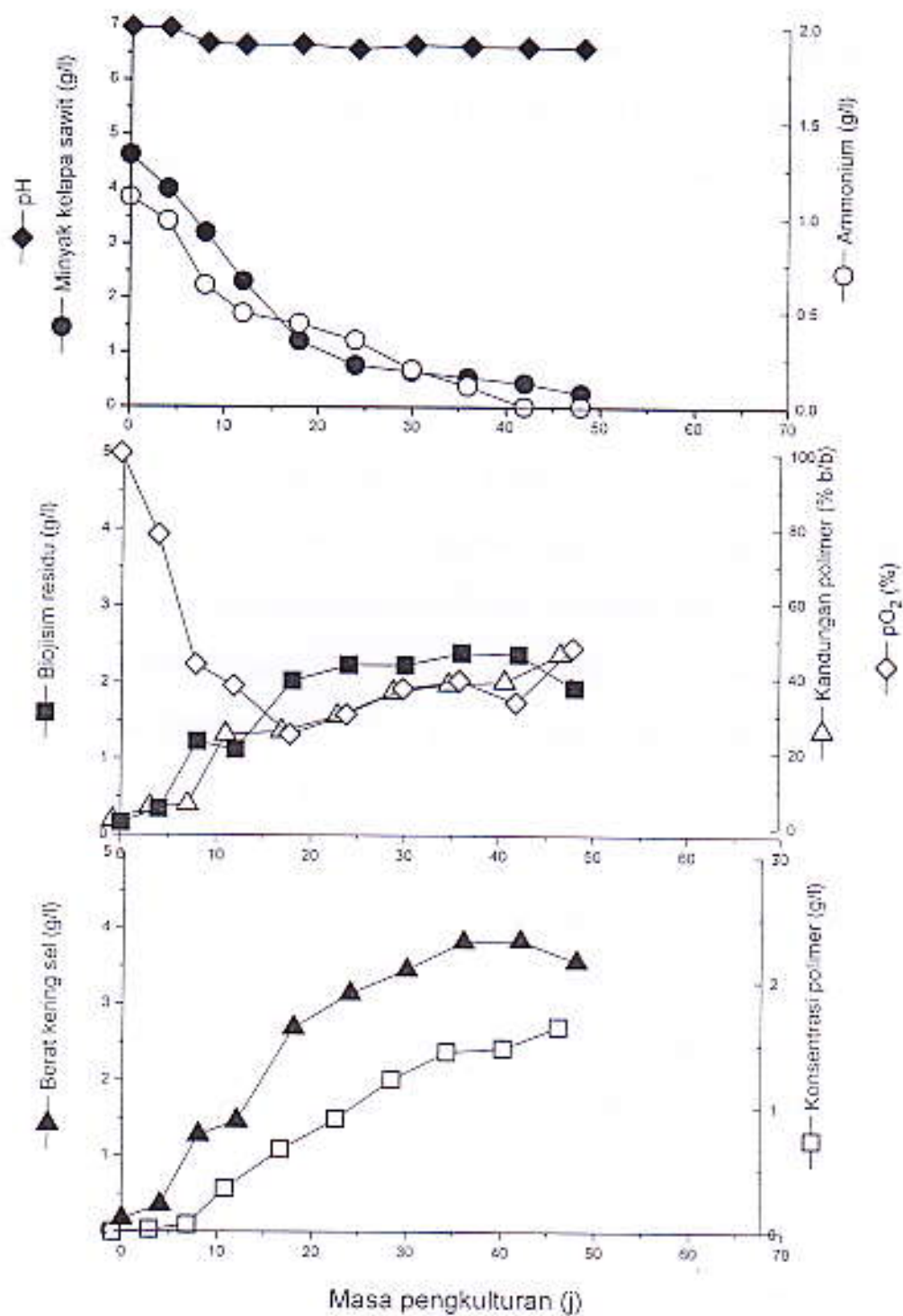
pada konsentrasi tertentu dan kemudian dituangkan ke dalam cawan petri dan dibiarkan kering secara perlahan pada suhu di bawah 20 °C (teknik *solven casting*) (Doi, 1990). Kehomogenan permukaan film yang telah dihasilkan dan profil serat permukaannya di menggunakan *Scanning Electrom Microscope* (SEM).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Adanya granul biopolimer di dalam sel bakteri *Erwinia* sp. USMI-20 dapat dilihat dengan jelas melalui mikroskop elektron transmisi seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Diperlihatkan bahwa adanya granul biopolimer di dalam sel *Erwinia* sp. USMI-20 setelah ditumbuhkan dalam medium yang mengandung minyak kelapa sawit sebagai bahan dasarnya. Granul P(3HB) terdapat di dalam cairan sitoplasma dengan ukuran 100-300 nm.



Gambar 1 : Granul P(3HB) (berwarna putih) di dalam sel *Erwinia* sp. USMI-20 setelah pengkulturan dari bahan dasar minyak kelapa sawit

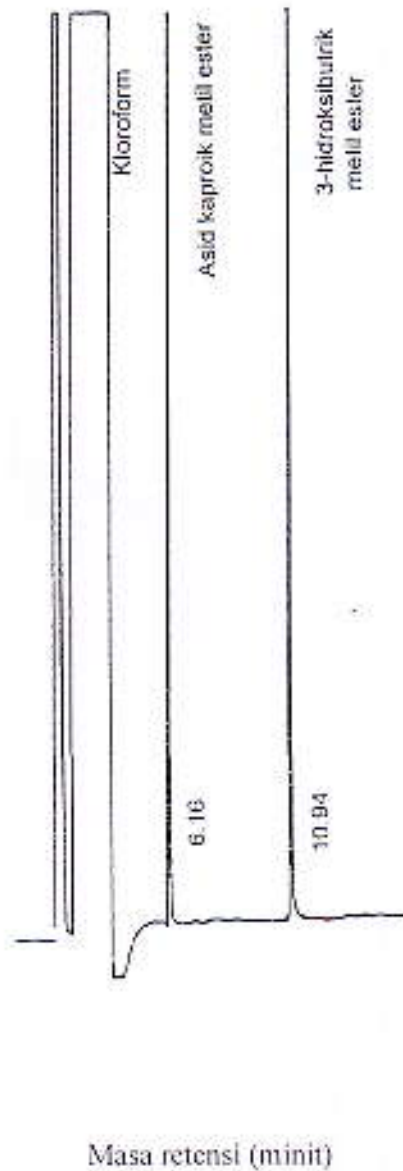


Gambar 2 Profil fermentasi produksi P(3HB) oleh *Erwinia* sp. USMI-20 dari minyak kelapa sawit dalam fermentor kapasita 10 liter.

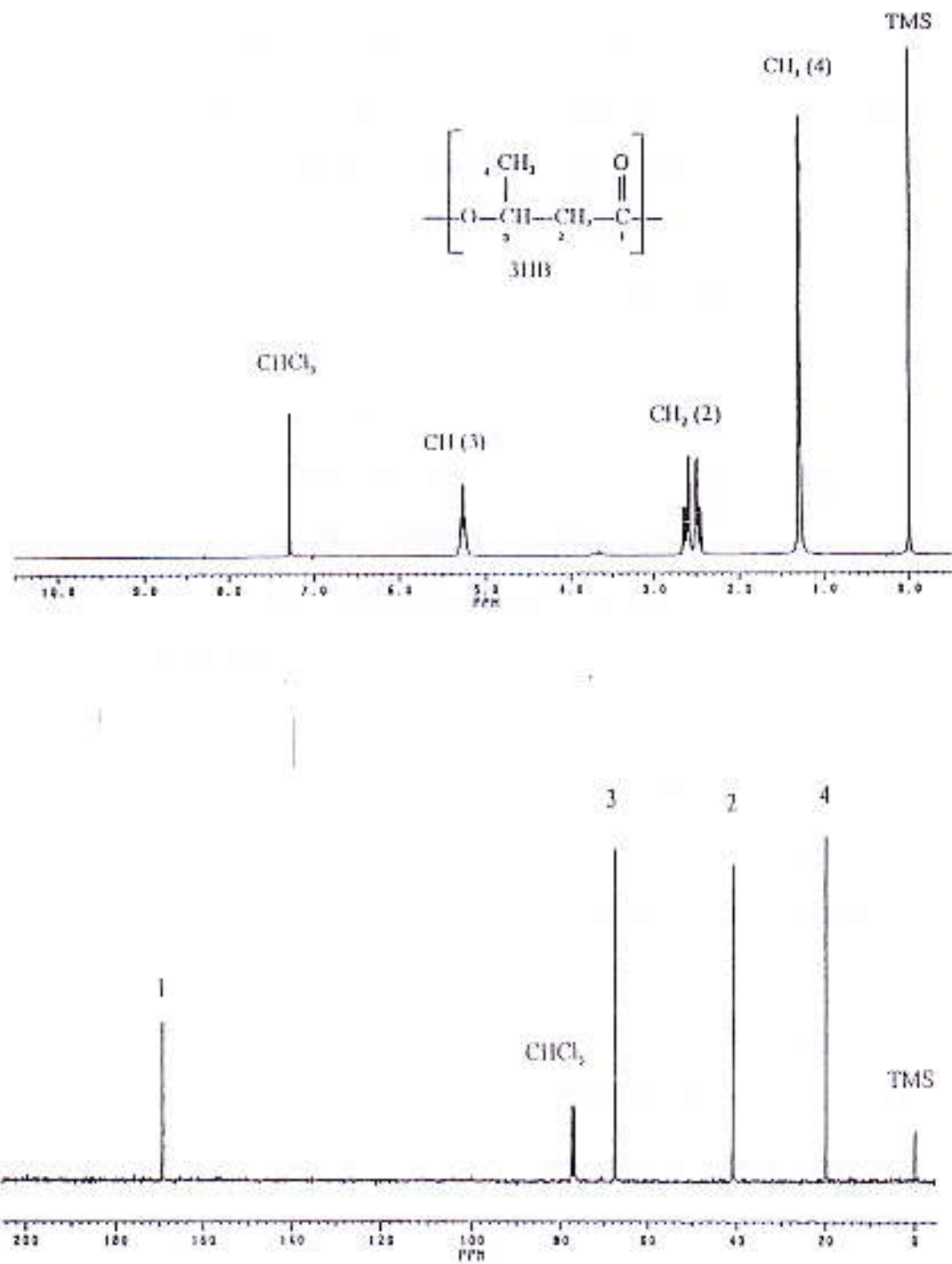
Profil fermentasi produksi P(3HB) dalam fermentor berkapasitas 10 liter ditunjukkan pada Gambar 2. Terlihat P(3HB) dihasilkan maksimum pada jam ke-48 dari fermentasi dengan kandungan polimer lebih kurang 48 % dari berat kering selnya dan dengan konsentrasi polimer 1,6 g/l. Pada jam ke-48 ini fermentasi dihentikan dan cairan fermentasinya dipusingkan untuk memisahkan sel bakterinya. Sel ini selanjutnya telah dikeringkan dengan alat *freeze drier*.

Polimer yang terdapat di dalam sel bakteri kemudian telah diekstraksi menggunakan kloroform panas dan kemudian dipekatkan menggunakan alat *rotary evaporator*. Diperoleh resin P(3HB) dan kemudian dimurnikan dengan teknik rekristalisasi menggunakan etanol. Gambar 3 menunjukkan spektrum kromatografi gas hasil analisis P(3HB) yang dihasilkan oleh *Erwinia* sp. USMI-20 dari minyak kelapa sawit. Dari gambar tersebut dapat diperhatikan adanya 2 puncak spektrum yang muncul yaitu pada waktu retensi 6.16 menit dan 10.94 menit. Kedua puncak spektrum tersebut berasal daripada asam kaproik metil ester yang muncul pada waktu retensi 6.16 menit dan 3-hidroksibutirik metil ester yang muncul pada waktu retensi 10.94 menit. Setelah dirujuk dan dibandingkan dengan spektrum kromatografi gas P(3HB) piawai, dapat diyakini bahawa kedua spektrum tersebut adalah identik.

Selanjutnya pada Gambar 4 diperlihatkan spektrum 270 MHz ^1H dan ^{13}C NMR daripada P(3HB) yang dihasilkan oleh *Erwinia* sp. USMI-20 dari minyak kelapa sawit. Dari spektrum ^1H NMR, ditunjukkan adanya 3 puncak spektrum yang terdiri dari: proton daripada H_3 pada posisi C_4 (1.4 ppm), proton



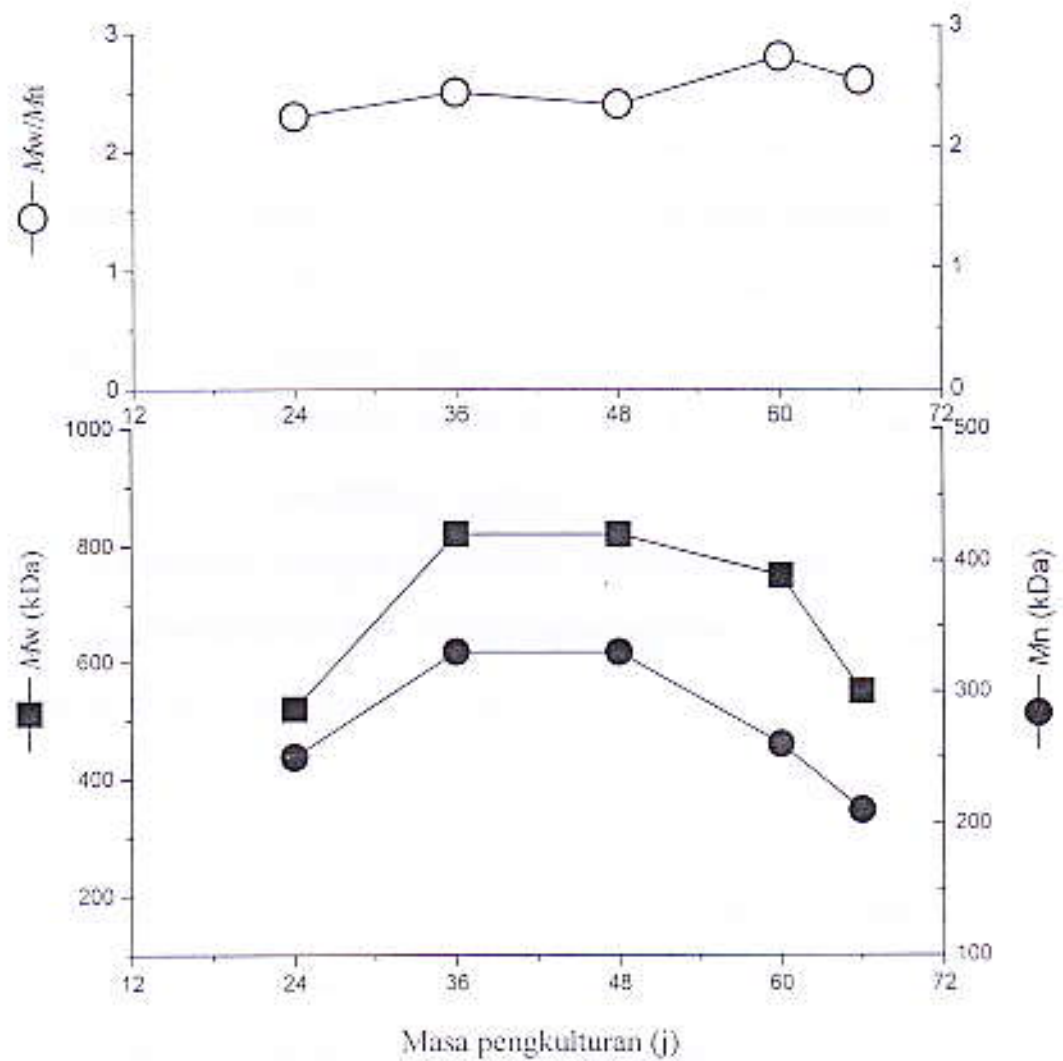
Gambar 3. Karakteristik kromatogram kromatografi gas P(3HB) yang dihasilkan oleh *Erwinia* sp. USMI-20 dari minyak kelapa sawit.



Gambar 4. Karakteristik spektrum 270 MHz ^1H dan ^{13}C NMR P(3HB) yang dihasilkan oleh *Erwinia* sp. USMI-20 dari minyak kelapa sawit.

dari H₂ pada posisi C₂ (2.6 ppm) dan proton dari H pada posisi C₃ (5.3 ppm). Manakala 2 puncak lainnya berasal dari tetrametilsilan (0.0 ppm) dan kloroform (7.3 ppm). Tetrametilsilan dalam hal ini bertindak sebagai baku dalaman sedangkan kloroform berasal daripada CDCl₃ yang digunakan sebagai pelarut. Sementara itu, dari spektrum ¹³C NMR dapat diperhatikan adanya 4 puncak spektrum atom karbon yang terdiri dari: karbon pada posisi C₁ (170 ppm), karbon pada posisi C₂ (41 ppm), karbon pada posisi C₃ (68 ppm) dan karbon pada posisi C₄ (20 ppm), sedangkan 2 puncak lainnya berasal daripada tetrametilsilan (0.0 ppm) dan kloroform (77 ppm). Data yang diperoleh ini setelah dicocokkan dengan spektrum P(3HB) standar (Doi, 1990) memperlihatkan persamaan sehingga dapat dipastikan senyawa tersebut adalah sama dan identik.

Gambar 5 memperlihatkan hasil penentuan M_w , M_n , M_w/M_n dari P(3HB) yang dihasilkan oleh *Erwinia* sp. USMI-20 dari sumber karbon minyak kelapa sawit. Didapati bahwa P(3HB) yang dihasilkan mempunyai M_w yang terletak di antara 520 hingga 820 kDa, M_n yang terletak di antara 210 hingga 330 kDa dan M_w/M_n di antara 2.3 hingga 2.8. Pada jam ke 24, P(3HB) dihasilkan dengan nilai M_w 520 kDa, M_n 250 kDa dan M_w/M_n 2.3. Pada jam ke 36, dihasilkan dengan M_w 820 kDa, M_n 330 kDa dan M_w/M_n 2.5. Pada jam ke 48, dihasilkan dengan M_w 820 kDa, M_n 330 kDa dan M_w/M_n 2.4. Kemudian pada jam ke 60, P(3HB) dihasilkan dengan M_w 750 kDa, M_n 260 kDa dan M_w/M_n 2.8. Kemudiannya pada jam ke 66, dihasilkan M_w 550 kDa, M_n 210 kDa dan M_w/M_n 2.6. Juga terlihat ada pengaruh lamanya waktu pengkulturan terhadap berat molekul P(3HB) yang dihasilkan. Pada jam ke 24, P(3HB) yang dihasilkan



Gambar 5 Profil M_w , M_n dan M_w/M_n P(3HB) yang dihasilkan oleh *Erwinia* sp. USMI-20 dari sumber karbon minyak kelapa sawit.

mempunyai M_w 520 kDa dan pada jam ke 36 nilai M_w 820 kDa dan jam ke 48 nilai M_w 815 kDa. Kemudian pada jam ke 60 dan 66 nilai M_w ini menurun menjadi 750 kDa dan 550 kDa.

Secara umum dengan bertambah tinggi berat molekul suatu polimer, maka sifat yang lebih kenyal akan diperoleh (Cowd, 1982). Berbagai strategi digunakan dalam penghasiian P(3HA) yang mempunyai berat molekul tinggi. Misalnya, Kusaka *et al.* (1999) menghasilkan P(3HB) dengan berat molekul sangat tinggi [*ultra-high-molecular-weight P(3HB)*] oleh bakteri rekombinan *E coli*, iaitu dengan purata-berat berat molekul M_w $3-11 \times 10^6$ Da. Sementara itu, kajian lain dengan cara menghambat aktivitas enzim P(3HA) depolimerase intra-sel secara genetik, sehingga penguraian biopolimer di dalam sel tidak berlaku. Dengan mendapatkan filem P(3HB) berberat molekul sangat tinggi ini, kekenyalan filem dapat ditingkatkan sehingga 400%.

Berat molekul suatu polimer merupakan satu ciri yang sangat penting untuk aplikasi komersial produk bioplastik, terutamanya dari segi fisika dan kefleksibelan dan pemprosesan. Akan tetapi, terdapat suatu kelemahan yang signifikan mengenai biosintesis polimer daripada sel bakteri berbanding dengan strategi pempolimeran secara sintesis kimia, yaitu tak cara dan strategi yang tepat untuk mengawal berat molekul produk dan keupayaan dalam memodifikasi struktur ujung produk. Proses pempolimeran di dalam sel didapati dibatasi oleh suatu faktor dalaman yang mengakibatkan berat molekul biopolimer tidak dapat ditingkatkan ke suatu nilai yang sangat tinggi. Menurut Taidi *et al.* (1994), faktor tersebut dikenali dengan agen pemindah rantai

polimer. Sebagai contoh, P(3HB) yang dihasilkan oleh bakteri dengan menggunakan metanol sebagai sumber karbon, didapati mempunyai berat molekul yang lebih kecil berbanding dengan yang menggunakan fruktosa ataupun glukosa.

Sementara itu kajian Suzuki *et al.* (1988) menyatakan bahwa penambahan kepekatan metanol mengakibatkan penurunan berat molekul. Maka dari dua kenyataan ini, metanol diduga sebagai agen pemindah rantai yang dapat meningkatkan kadar penamatan rantai berbanding dengan kadar tindakan penggandaan rantai biopolimer. Semenjak penemuan itu, peranan bahan organik yang mempunyai gugus hidroksil seperti metanol sebagai agen pemindah rantai dikaji.

Purata-berat berat molekul (M_w) dan purata-nomor berat molekul (M_n) P(3HB) yang dihasilkan oleh *Erwinia* sp. USMI-20, berbeda untuk setiap waktu sampling. Perbedaan ini mungkin disebabkan oleh kerana perbedaan panjang rantai P(3HB) yang dihasilkannya. Seperti terlihat pada struktur P(3HB), nilai bilangan unit berulang x daripada $(C_4 H_8 O_2)_x$, yang diperoleh pada kajian ini untuk P(3HB) adalah berkisar di antara 5,000 hingga 12,000 kali. Salah satu faktor yang mempengaruhi bilangan unit berulang x adalah peringkat pertumbuhan sel semasa pengambilan sel dilakukan pada persampelan (Suzuki *et al.*, 1988; Taidi *et al.*, 1994). Dari berbagai kajian dilaporkan oleh beberapa peneliti, bilangan unit berulang x ini dapat mencapai hingga 35,000 (Doi, 1990).

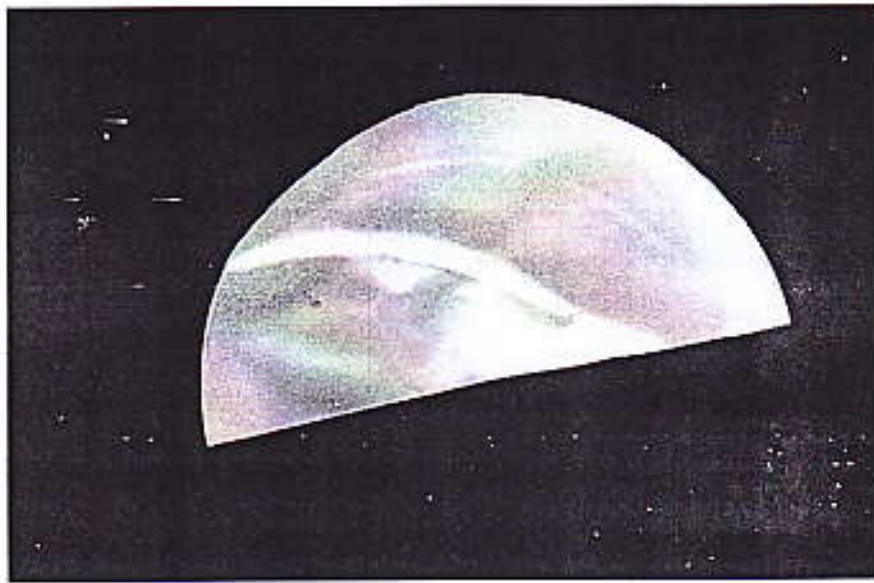
Apabila berat molekul P(3HB) yang dihasilkan oleh *R. eutropha* dari sumber karbon asid butirik iaitu sebesar 900 kDa (Doi, 1990) dibandingkan dengan berat molekul yang dihasilkan oleh *Erwinia* sp USMI-20 dalam kajian ini, ternyata *Erwinia* sp. USMI-20 menghasilkan P(3HB) dengan berat molekul yang lebih tinggi. Ini menunjukkan bahawa *Erwinia* sp. USMI-20 dapat digunakan sebagai bakteri penghasil P(3HB) untuk berat molekul besar dan ini merupakan salah satu keunggulan *Erwinia* sp. USMI-20 yang ditemukan dalam kajian ini.

Secara teori, perbezaan berat molekul antara spesies dapat dijelaskan menggunakan hasil kajian Brandl *et al.* (1991), yang menyatakan bahawa jenis strain penghasil sangat mempengaruhi berat molekul biopolimer. Sebagai contoh, *R. eutropha* menghasilkan P(3HB) yang berberat molekul tinggi selalunya melebihi 1,000 kDa, sedangkan P(3HA) yang dihasilkan oleh spesies *Pseudomonas* pula biasanya kurang daripada 1,000 kDa (Brandl *et al.*, 1988; Anderson *et al.*, 1992). Di samping perbezaan strain penghasil, berat molekul polimer juga boleh dipengaruhi oleh kaedah pengekstrakan polimer (Berger *et al.*, 1989).

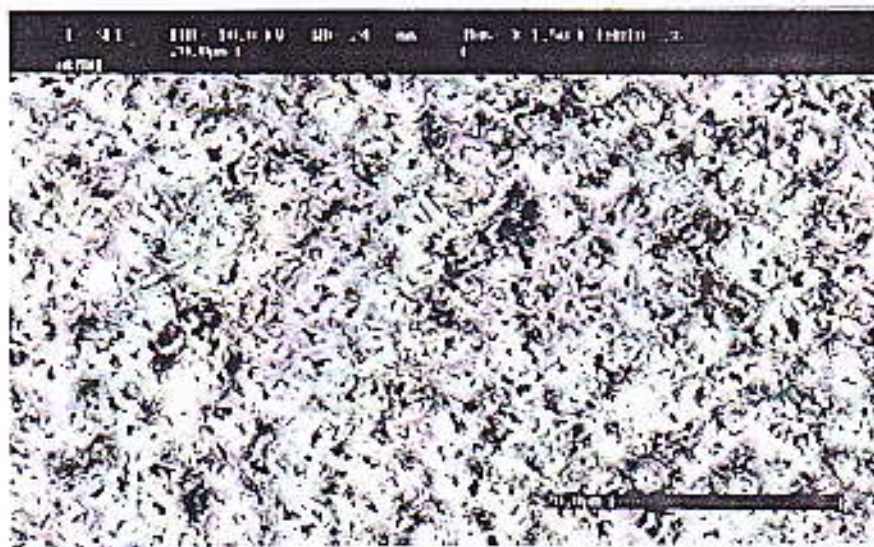
Hasil penentuan suhu lebur dan suhu peralihan kaca P(3HB) yang dihasilkan diperoleh suhu peleburan (T_m) sebesar 170 °C dan suhu peralihan kaca (T_g) sebesar 13 °C. Apabila dibandingkan dengan P(3HB) yang dihasilkan oleh bakteri komersil *R. eutropha*, P(3HB) yang dihasilkan oleh *Erwinia* sp. USMI-20 mempunyai suhu lebur (T_m) dan suhu peralihan kaca yang hampir sama dengan nilai yang dilaporkan (Lee, 1997), yaitu P(3HB) yang dihasilkan

oleh *R. eutropha* mempunyai T_m di antara 175 hingga 180 °C dan T_g di antara 4 hingga 15 °C (Poirier *et al.*, 1995). Ini menunjukkan bahwa kualitas dari P(3HB) yang dihasilkan oleh *Erwinia* sp. USMI-20 sama dengan yang dihasilkan oleh *R. eutropha*. Takat lebur (T_m) dan suhu peralihan kaca (T_g) adalah dua ciri fisika yang sangat penting untuk suatu polimer, karena akan menentukan apakah polimer berkenaan dapat terus diaplikasikan untuk berbagai keperluan di dalam industri.

Contoh plastik film P(3HB) yang dibuat dengan cara melarutkan serbuk P(3HB) dalam kloroform (*Solven Casting*) ditunjukkan pada Gambar 6. Film plastik P(3HB) dibuat dengan melarutkan polimer tersebut dalam kloroform dan dikeringkan secara perlahan-lahan dapat menghasilkan plastik film nipis dan tembus cahaya. P(3HB) adalah berupa homopolimer yang kesatuan berulangnya terdiri dari monomer yang sejenis. Menurut Cowd (1982), jika monomer A dan B bereaksi satu sama lain membentuk kopolimer, maka kopolimer yang dihasilkan seringkali memperlihatkan sifat fisika dan kimia yang sangat berbeda dari campuran fisika homopolimer A dan B. Seringkali sifat yang baik dari tiap homopolimer, dapat digabungkan atau dipertahankan dalam kopolimer yang terbentuk. Hal ini merupakan satu di antara keuntungan kopolimersisasi dalam industri polimer. Dari Gambar 6 juga nampak profil permukaan film plastik tersebut yang diperhatikan di bawah mikroskop elektron penskanan. Dengan perbesaran yang sama yaitu 1,500 kali terlihat bahawa serat plastik film homopolimer P(3HB) yang sangat halus. Pada penggunaan polimer dalam industri, kopolimer lebih disukai berbanding homopolimer kerana sifatnya yang tidak rapuh, lebih lentur,



(A)



(B)

Gambar 6. Contoh plastik film P(3HB) yang dihasilkan dari sumber karbon minyak kelapa sawit dan profil permukaannya di bawah *Scanning Electron Microscope (SEM)*

sehingga mudah dibentuk sesuai keinginan (Brandl *et al.*, 1991; Aubineau dan Aubedert, 1989).

Selanjutnya untuk penggunaannya dalam pelbagai keperluan sehari-hari, dewasa ini telah mulai dikembangkan teknik pencampuran (*blending*) P(3HB) dengan polimer lainnya yang bertujuan untuk mengubah sifat fisika dari film polimer yang dihasilkan. Berbagai polimer yang telah dikaji dicampurkan dengan P(3HB) di antaranya: polivinil alkohol, polilaktid, polikaprolakton, polibutirolakton, selulosa asetat butirat, selulosa asetat propionat dan *starch* asetat (Zhang *et al.*, 1997). Pencampuran polimer ini dilakukan secara fisik untuk mendapatkan sifat polimer yang berbeda, sesuai dengan keperluan yang diinginkan (Cowd, 1982). Dengan demikian penggunaan biopolimer hasil *blending* ini akan dapat bersaing dengan polimer sintesis.

KESIMPULAN DAN SARAN

1. Minyak kelapa sawit sangat dapat digunakan sebagai bahan dasar produksi senyawa bioplastik P(3HB) menggunakan bakteri *Erwinia* sp. USMI-20. Karakterisasi dilakukan dengan teknik Kromatografi Gas (GC) dan Spektroskopi Magnetik Inti (NMR)
2. P(3HB) yang dihasilkan mempunyai suhu lebur 175 °C, suhu peralihan kaca 13 °C.
3. P(3HB) yang dihasilkan mempunyai M_w yang terletak di antara 520 hingga 820 kDa, M_n yang terletak di antara 210 hingga 330 kDa dan M_w/M_n di antara 2.3 hingga 2.8.

4. Plastik filem P(3HB) dapat dihasilkan dengan cara teknik *solven casting*, berupa filem tipis berwarna bening/transparan yang mempunyai serat halus di lihat di bawah *Scanning Electron Microscope*.

Disarankan untuk melanjutkan penelitian ini ke tahap produksi skala produksi dan penggunaannya untuk berbagai keperluan seperti kemasan dan penggunaan dalam bidang farmasi.

DAFTAR PUSTAKA

Akmal, D., M.N. Azizan and M.I.A. Majid (2003). Biodegradation of microbial polyesters P(3HB) and P(3HB-co-3HV) under the tropical climate environment, *Int. J. Polym. Degrad. Stab.* 80: 513-518.

Akmal, D., Agustien, A. dan Jamarun N. (2003), Produksi senyawa bioplastik poli(3-hidroksibutirat) dari minyak kelapa sawit secara fermentasi, *Laporan Penelitian HIBAH BERSAING XI, Ditjen Dikti*, Tahun anggaran 2003.

Akmal, D., M.I.A. Majid, and M.N. Azizan (1998a). Biosynthesis of a copolymer poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) from palm oil and n-propanol or propionic acid as a second carbon source by *Erwinia* sp.USMI-20, *Program and Abstracts of The International Symposium on Biological Polyhydroxyalkanoates*, 9-11 September 1998, Tokyo, JAPAN

Akmal, D., M.I.A. Majid, A. Agustien, L.L. Few, M.S. Razip, M.N. Nazalan and M.N. Azizan (1999a), Utilization of valeric acid as a second carbon source on production of poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate), *Jurnal Sains dan Teknologi Farmasi*, 4(1): 1-11.

Akmal, D. dan Agustien, A. (1999b), Penghasilan bioplastik poli(3-hidroksibutirat) dan kopolimernya oleh bakteri *Erwinia* sp. USMI-20, *Laporan Penelitian Dosen Muda (BBI), Ditjen Dikti*, Tahun anggaran 1999/2000.

Akmal, D. dan Agustien, A. (2000). Landasan ilmiah penghasilan bioplastik poli(3-hidroksibutirat-co-3-hidroksivalerat) dari minyak kelapa sawit oleh bakteri *Erwinia* sp. USMI-20, *Laporan Penelitian Program Penelitian Dasar Ditjen Dikti*, Tahun anggaran 1999/2000.

- Anderson, A. J., William, D. R., Taidi, B., Dawes, E. A. and Ewing, D. F. (1992). Studies on copolyester synthesis by *Rhodococcus ruber* and factors influencing the molecular mass of polyhydroxybutyrate accumulated by *Methylobacterium extorquens* and *Alcaligenes eutrophus*. *FEMS Microbiol. Rev.* **103**: 93-102.
- Aubineau, C. and Aubedert, R. (1989). Polimer Organik (Penterjemah, Maidunny, Z. A.). Dewan Bahasa dan Pustaka, Kuala Lumpur.
- Barham, P. J. (1990). Physical properties of poly(3-hydroxybutyrate) and poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) in: *Novel Biodegradable Microbial Polymers* (Ed. Dawes, E. A). Kluwer Academic Publ., Boston, 81-96.
- Berger, E., Ramsay, B. A., Ramsay, J. A. and Groleau, D. (1989). PHB recovery by hypochlorite digestion of non-PHB biomass. *Biotechnol. Tech.* **3**: 227-232.
- Brandl, H., Gross, R. A., Lenz, R. W. and Fullen, R. C. (1988). *Pseudomonas oleovorans* as a source of poly(β -hydroxyalkanoates) for potential applications as biodegradable polyesters. *Appl. Environ. Microbiol.* **54**: 1977-1982.
- Brandl, H., Gross, R. A., Lenz, R. W. and Fullen, R. C. (1991). Plastic from bacteria: poly(3-hydroxyalkanoates) as natural, biocompatible and biodegradable polyester. *Adv. Biochem. Eng. Biotechnol.* **41**: 77-93.
- Brandl, H., Bachofen, R., Mayer, J. and Wintermantel, E. (1995). Degradation and application of polyhydroxyalkanoates. *Can. J. Microbiol.* **41**(Suppl.1): 143-153.
- Cowd, M. A. (1982). *Polymer Chemistry*, John Murray Publ. Ltd, London.
- Doi, Y. Kunioka, M., Nakamura, Y. dan Soga, K. (1986a). ^1H and ^{13}C NMR analysis of poly(β -hydroxybutyrate) isolated from *Bacillus megaterium*. *Microb. Polyester.* **19**: 1274-1276.
- Doi, Y. Kunioka, M., Nakamura, Y. dan Soga, K. (1986b). Nuclear magnetic resonance studies on poly(β -hydroxybutyrate) and a copolymer of (β -hydroxybutyrate) and (β -hydroxyvalerate) from *Alcaligenes eutrophus* H16. *Microb. Polyester.* **19**: 2860-2864.
- Doi, Y (1990a). Poly (3-hydroxyalkanoates), Metabolism, In: *Microbial Polyester*, Chapter 4, UCH Publ. Inc., New York, 63-86.
- Doi, Y (1990b). Microorganism and Poly (3-hydroxyalkanoates), In: *Microbial Polyester*, Chapter 3, UCH Publ. Inc., New York, 33-60.
- Doi, Y. (1990c). Biodegradation of Microbial Polyester, In: *Microbial Polyester*, Chapter 8, UCH Publ. Inc., New York, 135-151.

Fukui, T. and Doi, Y. (1998). Efficient production of polyhydroxyalkanoates from plant oil by *Alcaligenes eutrophus* and its recombinant strain. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **49**: 333-336.

Kusaka, S., Iwata, T. and Doi, Y. (1999). Properties and biodegradability of ultra-high-molecular-weight poly[(R)-3-hydroxybutyrate] by a recombinant *Escherichia coli*. *Int. J. Biol. Macromol.* **25**: 87-94.

Lee, Y. W. and Yoo, Y. J. (1994). High cell density culture of *Alcaligenes eutrophus* and PHB production by optimization of medium compositions. *Korean J. Appl. Microbiol. Biotechnol. Lett.* **14**: 811-816.

Lindsay, K.F (1992). Truly Degradable Resin are Now Truly Commercial, *Mod.* **19**: 210-222.

Majid, M. I. A. (1988). The degradation of PHB and P(3HB/HV) copolymers and their uses in drug delivery, *Ph.D. Thesis, The University of Bath*. United Kingdom, 1-250.

Rehm, B. H. A. and Steinbüchel, A. (1999). Biochemical and genetic analysis of PHA synthases and other proteins required for PHA synthesis. *Int. J. Biol. Macromol.* **25**: 3-19.

Steinbüchel, A. and Fuchtenbush, B. (1998). Bacterial and other biological system for polyester production. *Tibtech.* **16**: 419-427.

Suzuki, T., Deguchi, H., Yamane, T., Shimizu, S. and Gekko, K. (1988). Control of molecular weight of poly- β -hydroxybutyric acid produced in fed-batch culture of *Protomonas extorquens*. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **27**: 487-491.

Taidi, B., Anderson, A. J., Dawes, E. A. and Byrom, D. (1994). Effect of carbon source and concentration of the molecular mass of poly(3-hydroxybutyrate) produced by *Methylobacterium extorquens* and *Alcaligenes eutrophus*. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **40**:786-790.

van der Walle, G. A. M., Buisman, G. J. H., Weusthuis, R. A. and Eggink, K. (1999). Development of environmentally friendly coating and paints using medium-chain-length poly(3-hydroxyalkanoates) as the polymer binder. *Int. J. Biol. Macromol.* **25**: 123-128.

Zhang, L., Deng, X., Zhao, S. and Huang, Z. (1997). Biodegradable polymer blends of poly(3-hydroxybutyrate) and starch acetate. *Polym. Int.* **44**: 104-110.