

II. TINJAUAN PUSTAKA

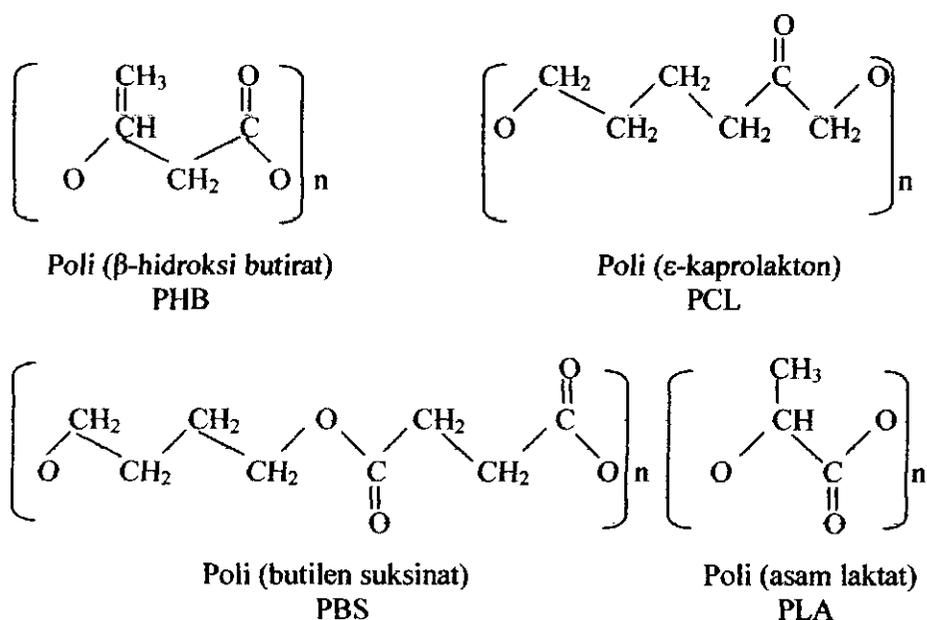
2.1 Plastik Biodegradabel

Plastik biodegradabel adalah plastik yang dapat digunakan layaknya seperti plastik konvensional, namun akan hancur terurai oleh aktivitas mikroorganisme menjadi hasil akhir air dan gas karbondioksida (H_2O dan CO_2) setelah habis terpakai dan dibuang ke lingkungan. Karena sifatnya yang dapat kembali ke alam, plastik biodegradabel merupakan bahan plastik yang ramah terhadap lingkungan. Di Jepang telah disepakati penggunaan nama plastik hijau (GURIINPURA) untuk plastik biodegradabel (Pranamuda, 2001).

Berdasarkan bahan baku yang dipakai, plastik biodegradabel dikelompokkan menjadi 2 kelompok, yaitu kelompok dengan bahan baku petrokimia dan kelompok dengan bahan baku produk tanaman seperti pati dan selulosa. Yang pertama adalah penggunaan sumberdaya alam yang tidak terbarui (*non-renewable resources*), sedangkan yang kedua adalah sumber daya alam yang terbarui (*renewable resources*). Saat ini polimer plastik biodegradabel yang telah diproduksi adalah kebanyakan dari polimer jenis poliester alifatik. Menurut Pranamuda (2001) plastik biodegradabel dapat dikelompokkan ke dalam 4 bagian, yaitu:

- a. Poli (ϵ -kaprolakton) (PCL) : PCL adalah polimer hasil sintesa kimia menggunakan bahan baku minyak bumi. PCL mempunyai sifat biodegradabilitas yang tinggi, dapat dihidrolisis oleh enzim lipase dan esterase yang tersebar luas pada tanaman, hewan dan mikroorganisme. Namun titik lelehnya yang rendah, $T_m = 60^\circ C$, menyebabkan bidang aplikasi PCL menjadi terbatas.
- b. Poli (β -hidroksi butirat) (PHB) : PHB adalah poliester yang diproduksi sebagai cadangan makanan oleh mikroorganisme seperti *Alcaligenes* (*Ralstonia*) *eutrophus*, *Bacillus megaterium* dan sebagainya. PHA mempunyai titik leleh yang tinggi ($T_m = 180^\circ C$).
- c. Poli (butilena suksinat) (PBS): PBS mempunyai titik leleh yang setara dengan plastik konvensional polietilen, yaitu $T_m = 113^\circ C$. Kemampuan enzim lipase dalam menghidrolisis PBS relatif lebih rendah dibandingkan dengan

- b. kemampuannya menghidrolisis PCL. Untuk meningkatkan sifat biodegradabilitas PBS, dilakukan kopolimerisasi membentuk poli (butilen suksinat-ko-adipat) (PBS/A). PBS dan PBS/A memiliki sifat ketahanan hidrolisis kimiawi yang rendah, sehingga tidak dapat diaplikasikan untuk bidang aplikasi lingkungan lembab. Kopolimerisasi PBS dengan poli karbonat menghasilkan produksi poliester karbonat yang memiliki sifat terurai, ketahanan hidrolisa kimiawi dan titik leleh yang tinggi.
- c. Poli asam laktat (PLA) : PLA merupakan poliester yang dapat diproduksi menggunakan bahan baku sumberdaya alam terbaru seperti pati dan selulosa melalui fermentasi asam laktat. PLA mempunyai titik leleh yang tinggi sekitar 175°C, dan dapat dibuat menjadi lembaran film yang transparans. Gambar 1 menunjukkan representatif dari polimer plastik biodegradabel yang sudah diproduksi skala industri.



Gambar 1. Rumus kimia plastik biodegradabel dari golongan poliester alifatik (Pranamuda, 2001).

2.2 PHA (Poli-β -Hidroksialkanoat)

PHA merupakan polimer-polimer dari hidroksialkanoat yang terakumulasi sebagai suatu karbon atau cadangan makanan dan energi dalam berbagai mikroorganisme. Biasanya dibawah kondisi keterbatasan unsur-unsur nutrisi

seperti nitrogen, sulfur, oksigen dan magnesium dalam keberadaan sumber karbon yang berlebih (Lee, Y.M. Jung dan Park,1999). PHA diakumulasikan sebagai granula-granula amorfous yang secara umum berperan dalam memasukkan dan mereduksi karbon secara bersamaan. Granula tersebut tersimpan dalam sel secara intraseluler di bawah kondisi pertumbuhan yang tidak menguntungkan (Madison dan Huisman, 1999).

PHA yang pertama ditemukan adalah poli- β -hidroksibutirat (PHB), dan beberapa PHA yang lain telah ditemukan dalam tahun terakhir ini (Rhie dan Dennis, 1995). Beberapa bakteri mampu mensintesis dan mengakumulasikan PHA selama fase pertumbuhan stasioner pada saat sel-sel mengalami keterbatasan dalam memperoleh nutrisi esensial, tetapi mempunyai sumber karbon yang melimpah (Crueger dan Crueger, 1984). Diketahui lebih dari 300 mikroorganisme yang berbeda mampu mensintesis dan mengakumulasikan PHA secara intraseluler. Strain-strain bakteri yang diketahui dapat mengakumulasikan PHA mencakup *Bacillus megaterium*, *Pseudomonas oleovorans*, *P.cepacia*, *P.extorequens*, *Alcaligenes eutrophus* dan *Rhodospirillum rubrum* (Madison dan Huisman, 1999).

Lay (1994) mengatakan bahwa PHB yang merupakan PHA membentuk granula seperti lipida yang dapat diwarnai dengan zat warna yang larut dalam lipida seperti Sudan Black B. Zat warna tersebut mewarnai granula PHB menjadi biru tua atau biru kehitaman sedangkan sitoplasma menjadi merah. Bila ada spora dalam bakteri maka spora ini tidak akan menyerap warna. Zat warna yang larut dalam lipida sering disebut sebagai zat warna netral, karena bagian berwarna tidak mempunyai muatan dan mewarnai granula lipida karena larut dalam bahan lipida ini. Ini berarti bahwa pewarnaan granula PHB bukan disebabkan perbedaan muatan.

2.3 Pati sebagai Sumber Karbon Bakteri Penghasil PHA

Indonesia kaya akan sumberdaya alam, diantaranya pati-patian (tapioka dan sagu) yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan plastik biodegradable. Beberapa substrat telah dipakai sebagai sumber karbon bagi bakteri untuk mensintesis dan mengakumulasikan PHA. Sumber karbon yang telah dipakai

antara lain glukosa, asam propionat, asam alkanonat, xylosa dan laktosa. Salah satu alternatif yang murah dan bisa digunakan adalah pati sebagai substrat untuk menghasilkan PHA (Pranamuda, 2001).

Pati adalah polisakarida simpanan yang terdapat pada tumbuhan tingkat tinggi, terdiri dari dua komponen yaitu amilosa dan amilopektin. Amilosa merupakan polisakarida linier dari unit-unit glukosa yang dihubungkan oleh ikatan α (1,4)-glukosida. Berat molekulnya bervariasi dari beberapa ribu sampai 150.000. Amilosa ini yang memberi warna biru dengan adanya iodium, karena senyawa ini dapat masuk dan menduduki posisi gelung helikal yang terbentuk jika amilosa berada dalam air (Girindra, 1993).

Pati terutama terdapat dalam jumlah yang tinggi pada golongan ubi, kentang dan biji-bijian, tetapi kemampuan membentuk pati dijumpai pada semua sel tanaman. Pati mengandung dua jenis polimer glukosa, amilosa dan amilopektin (Lehninger, 1982).

2.4 Biosintesis PHA

Proses metabolisme PHA di dalam mikroorganisme merupakan suatu sistem tertutup yang melibatkan proses akumulasi dan polimerasi (Fernandez, Roriquéz, Gonzales & Ruizberraqueiro, 1986). Menurut Valentin dan Dennis (1996), bahwa dari sumber karbon seperti glukosa dibentuk asam piruvat melalui proses glikolisis. Oksidasi asam piruvat menghasilkan asetil- KoA. Sebagian besar asetil-KoA akan masuk ke siklus Krebs atau siklus asam trikarboksilat, dan sebagian lainnya masuk ke lintasan pembentuk PHA. Bila kondisi substrat karbon berlebih, maka laju pengambilan substrat akan lebih tinggi daripada yang dibutuhkan untuk pertumbuhan. Substrat yang diserap akan memicu pembentukan NADH_2 yang akan membentuk ATP. Jika jumlah ATP yang diproduksi berlebih maka akan diakumulasikan dan akan meningkatkan pembentukan PHA. PHA yang dibentuk sebagai cadangan makanan berfungsi sebagai tempat penyimpanan NADH_2 . Akumulasi PHA dapat digunakan sebagai sumber karbon dan energi internal bila sumber karbon eksternal terbatas.

Pembentukan PHA diawali dengan konversi asetoasetil-KoA oleh enzim β -ketotiolase. Langkah berikutnya adalah pembentukan 3-hidroksibutiril-KoA

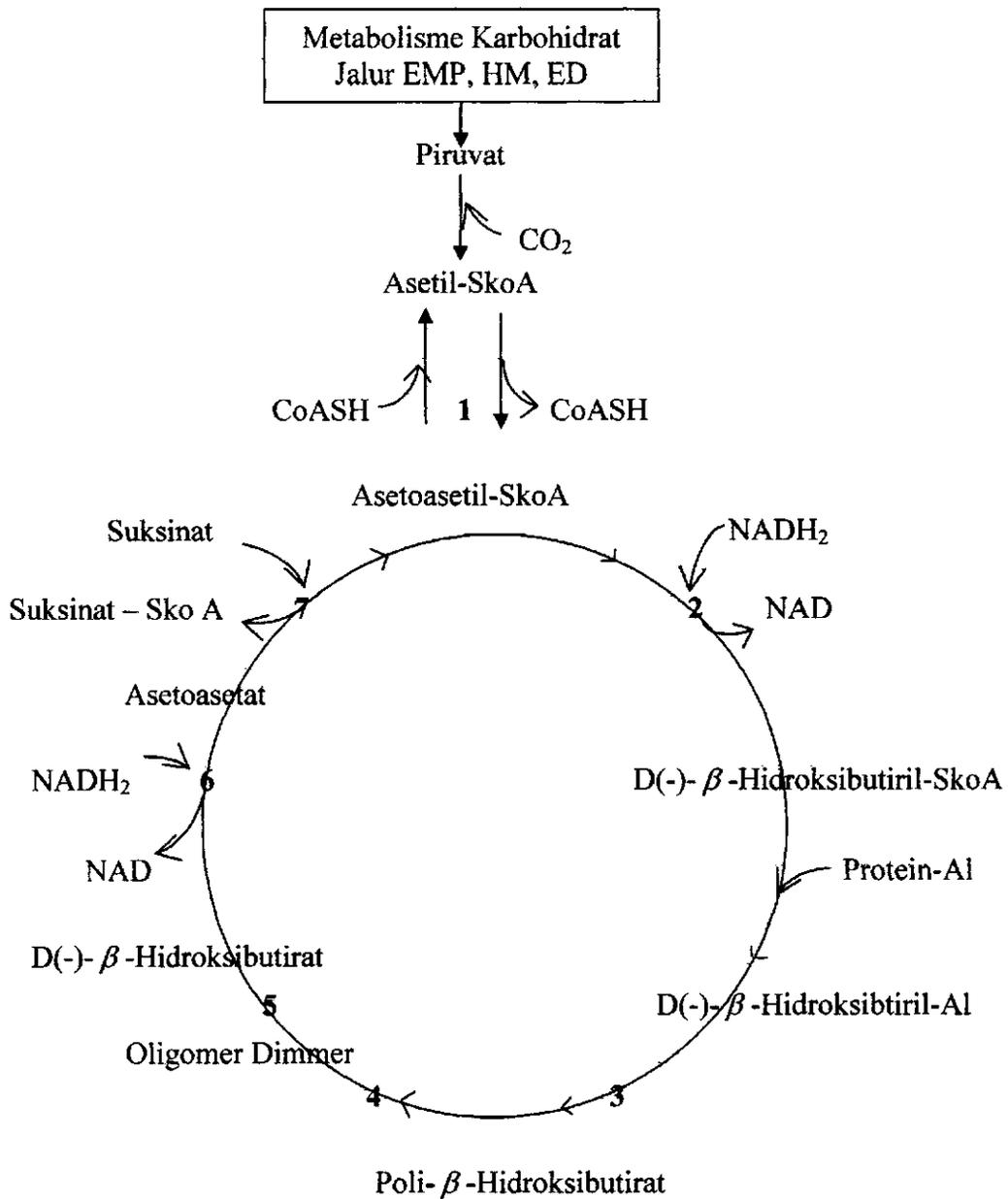
dengan bantuan enzim asetoasetil-KoA reduktase (NADPH reduktase). Pembentukan polimer PHA dilakukan dengan bantuan enzim PHA sintase (PHA polymerase) (Fernandez, *et al.*, 1986). Menurut Anderson dan Dawes (1990), bahwa pada sebagian besar mikroba, PHA disintesis dari asetil-KoA melalui tiga reaksi katalis dan tiga enzim spesifik yaitu β -ketotiolase, asetil KoA reduktase dan PHA sintase. Enzim β -ketotiolase ini mengkatalisis pembentukan asetoasetil-KoA dari asetil-KoA reduktase. Asetoasetil-KoA ini diubah menjadi 3-hidroksibutiril-KoA oleh enzim asetoasetil-KoA. Kemudian 3-hidroksibutiril-KoA diubah menjadi PHA dengan bantuan enzim PHA sintase. Daur metabolisme PHB yang merupakan PHA dapat dilihat pada gambar 2.

2.5 Enzim Amilase

Karbohidrat merupakan raksasa tidur dalam bioteknologi dan Indonesia merupakan penghasil karbohidrat dari beras, ketela, jagung dan sagu dalam jumlah yang menakjubkan di dunia. α -Amilase adalah salah satu enzim yang bekerja pada karbohidrat yang digunakan secara luas dalam industri makanan, kertas, tekstil, deterjen, bahan bakar dan memiliki potensi aplikasi dalam klinik (Natalia dan Nurachman, 2006).

Enzim amilase digunakan untuk menghidrolisis pati menjadi suatu produk yang larut dalam air serta mempunyai berat molekul rendah yaitu glukosa. Enzim ini banyak digunakan pada industri minuman misalnya pembuatan *High Fructose Syrup* (HFS) maupun industri tekstil.

Enzim amilase dapat diproduksi oleh berbagai jenis mikroorganisme terutama dari genus *Bacillus*, *Pseudomonas* dan *Clostridium*. Bakteri yang akhir-akhir ini banyak digunakan untuk memproduksi enzim amilase pada skala industri antara lain *Bacillus licheniformis* dan *B.stearothermophilus*. Bahkan *B.stearothermophilus* lebih disukai karena mampu menghasilkan enzim yang bersifat termostabil sehingga dapat menekan biaya produksi (Crueger dan Crueger, 1984).



Gambar 2. Daur Metabolisme PHB/PHA (Surono, 2003).

Keterangan :

- (1) β -Ketothiolase
 - (2) Asetoasetil-koA reductase
 - (3) PHB-polimerase
 - (4) PHB-hidrolase
 - (5) Dimer-hidrolase
 - (6) β -hidroksibutirat hidrolase
 - (7) Asetoasetil-koA thiokinase
- EMP = Jalur Embden Meyerhof Parnas
 HM = Jalur Hexosa Monofostat
 ED = Jalur Entner Duodoroff

2.6 Kawasan Taman Hutan Raya Sultan Syarif Hasyim Provinsi Riau

Kawasan Tahura SSH adalah kawasan pelestarian alam untuk tujuan koleksi tumbuhan dan satwa baik yang alami dan yang tidak alami, jenis asli atau bukan asli yang dapat dimanfaatkan bagi kepentingan penelitian, ilmu pengetahuan, pendidikan, menunjang budidaya, budaya, pariwisata dan rekreasi. Kawasan tersebut terletak dalam struktur tersier dan cekungan belakang busur (*Back Arc Basin*) dari busur pegunungan Sumatera yang membujur mengikuti pola Sumatera dengan arah Barat Laut-Tenggara.

Proses pembentukan tanah di kawasan ini berjalan dengan cepat didukung oleh iklim daerah studi yang basah, dimana gerakan air ke bawah yang terus menerus, suhu tinggi dan banyaknya mikroorganisme (biomass) di dalam tanah. Dari hasil analisis sampel tanah di laboratorium, mengidentifikasi bahwa tanah di daerah ini tergolong rendah tingkat kesuburannya. Reaksi tanah tergolong sangat masam (pH 4,53-4,71) pada lapisan atas (0-30 cm) dan kandungan kation-basa (K, Na, Ca, dan Mg) umumnya tergolong sangat rendah sampai sedang (Dinas Kehutanan, 2003).