

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Plastik

2.1.1 Pengertian Plastik

Plastik adalah bahan yang mempunyai derajat kekristalan lebih rendah dari pada serat. Plastik dapat dicetak (dicetak ulang) sesuai dengan bentuk yang diinginkan dan dibutuhkan dengan menggunakan proses *injection molding* dan ekstrusi (Anonim, 2010).

Komponen utama plastik sebelum membentuk polimer adalah monomer, yakni rantai yang paling pendek. Polimer merupakan gabungan dari beberapa monomer yang akan membentuk rantai yang sangat panjang. Bila rantai tersebut dikelompokkan bersama-sama dalam suatu pola acak, menyerupai tumpukan jerami maka disebut amorf, jika teratur hampir sejajar disebut kristalin dengan sifat yang lebih keras dan tegar.

Berdasarkan ketahanan plastik terhadap perubahan suhu, maka plastik dibagi menjadi dua yaitu:

1. Termoplastik, bila plastik meleleh pada suhu tertentu melekat mengikuti perubahan suhu, bersifat *reversible* (dapat kembali ke bentuk semula atau mengeras bila didinginkan).
2. Termoset atau termodursisabel, jenis plastik ini tidak dapat mengikuti perubahan suhu (*non reversible*). Sehingga bila pengerasan telah terjadi maka bahan tidak dapat digunakan kembali. Pemanasan dengan suhu tinggi tidak akan melunakkan jenis plastik ini melainkan akan membentuk arang dan terurai.

Plastik merupakan suatu bahan yang tidak mudah terdekomposisi oleh mikroorganisme pengurai karena sifat khusus yang dimilikinya yaitu suatu polimer rantai panjang sehingga bobot molekulnya tinggi dimana atom-atom penyusunnya saling mengikat satu sama lain. Hampir setiap produk seperti makanan dan minuman, menggunakan plastik sebagai kemasan. Sedangkan produk rumah tangga banyak yang menggunakan bahan dasar plastik karena

plastik mempunyai keunggulan seperti ringan, kuat, transparan, tahan air serta harganya relatif murah dan terjangkau oleh semua kalangan masyarakat.

Plastik merupakan produk polimer sintetis yang terbuat dari bahan-bahan petrokimia yang merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui. Struktur kimiawinya yang mempunyai bobot molekul tinggi dan pada umumnya memiliki rantai ikatan yang kuat sehingga plastik membutuhkan waktu yang lama terurai di alam.

Penggunaan plastik sintetis sebagai bahan pengemas memang memiliki berbagai keunggulan seperti mempunyai sifat mekanik dan *barrier* yang baik, harganya yang murah serta kemudahannya dalam proses pembuatan dan aplikasinya. Plastik sintetis mempunyai kestabilan fisiko-kimia yang terlalu kuat sehingga plastik sangat sukar terdegradasi secara alami dan telah menimbulkan masalah dalam penanganan limbahnya. Permasalahan tersebut tidak dapat terselesaikan melalui pelarangan atau pengurangan penggunaan plastik.

Diantara bahan kemasan tersebut, plastik merupakan bahan kemasan yang paling populer dan sangat luas penggunaannya. Plastik tidak hanya dipakai untuk kemasan pangan (*food grade*), tetapi juga banyak diaplikasikan sebagai bahan pelindung, pewadahan produk elektronika, komponen/suku cadang dan zat kimia untuk industri. Bahan kemasan ini memiliki berbagai keunggulan yakni, fleksibel (dapat mengikuti bentuk produk), transparan (tembus pandang), tidak mudah pecah, bentuk laminasi (dapat dikombinasikan dengan bahan kemasan lain), tidak korosif dan harganya relatif murah.

Disamping memiliki berbagai kelebihan yang tidak dimiliki oleh bahan kemasan lainnya, plastik juga mempunyai kelemahan yakni: tidak tahan panas, dapat mencemari produk (migrasi komponen monomer), sehingga mengandung resiko keamanan dan kesehatan konsumen dan plastik termasuk bahan yang tidak dapat dihancurkan dengan cepat dan secara alami (*non-biodegradable*).

2.1.2 Sampah Plastik

Abad ini, masyarakat dunia disibukkan dengan maraknya isu mengenai pemanasan global (*global warming*) dan lingkungan. Pengaruh memburuknya kondisi lingkungan, tentunya akan mempengaruhi pemanasan global dan juga ekosistem yang terdapat di dalamnya. Salah satu permasalahan mengenai lingkungan di dunia ataupun di Indonesia khususnya mengenai limbah plastik. Penggunaan plastik semakin populer di kalangan masyarakat Indonesia, karena memiliki banyak kegunaan dan praktis. Jakarta sebagai ibukota negara, mengalami masalah yang juga dialami oleh sebagian besar kota-kota lainnya, yaitu masalah penanganan limbah kota. Limbah plastik tidak hanya menjadi masalah di kalangan masyarakat umum tetapi juga menjadi masalah bagi perindustrian di Indonesia.

Polimer plastik yang tidak mudah terurai secara alami mengakibatkan terjadinya penumpukan limbah dan menjadi penyebab pencemaran dan kerusakan lingkungan hidup. Selain itu, plastik dalam proses pembuatannya menggunakan minyak bumi yang ketersediannya semakin berkurang dan sulit untuk diperbaharui (*non-renewable*). Kondisi demikian menyebabkan bahan kemasan plastik tidak dapat dipertahankan penggunaannya secara meluas, karena dapat menambah persoalan lingkungan dan kesehatan di waktu mendatang.

Sampah plastik merupakan suatu permasalahan global karena plastik sulit terdegradasi oleh mikroorganisme dalam lingkungan juga cuaca, sehingga menyebabkan masalah lingkungan yang sangat serius. Plastik yang berbentuk film ini akan menutup permukaan tanah, sehingga aerasi tidak bisa berjalan semestinya (Sumari, 1995).

Ratusan juta plastik yang digunakan di bumi ini, maka ratusan juta juga sampah plastik yang menjadi polutan utama dunia. Karena bahan utama pembuatan plastik adalah phthalat ester di(*ethylhexyl*) phthalat (DEHP) yang bersifat stabil dan sukar diuraikan oleh mikroorganisme sehingga kita terus-menerus memerlukan area untuk pembuangan sampah. (Koswara S, 2006).

Plastik tidak tahan terhadap panas, ancaman terjadinya kebakaranpun semakin meningkat. Asap hasil pembakaran bahan plastik sangat berbahaya karena mengandung gas-gas beracun seperti hidrogen sianida (HCN) dan karbon

monoksida (CO). Hidrogen sianida berasal dari polimer berbahan dasar akrilonitril, sedangkan karbon monoksida sebagai hasil pembakaran tidak sempurna yang menyebabkan sampah plastik sebagai salah satu penyebab pencemaran udara dan menyebabkan efek jangka panjang berupa pemanasan secara global pada atmosfer bumi.

Sampah plastik yang berada di dalam tanah dan tidak bisa diuraikan oleh mikroorganisme menyebabkan mineral-mineral dalam tanah baik organik maupun anorganik semakin berkurang. Hal ini menyebabkan jaranginya fauna tanah, seperti cacing dan fauna tanah yang hidup pada area tanah tersebut dikarenakan sulitnya memperoleh makanan dan tempat berlindung. Selain itu, kadar O₂ dalam tanah semakin sedikit, sehingga fauna tanah sulit untuk bernapas dan akhirnya mati. Ini berdampak langsung pada tumbuhan yang hidup di area tersebut. Tumbuhan memerlukan mikroorganisme tanah sebagai perantara dalam kelangsungan hidupnya (Ahmad D, dan Dorgan J R, 2007).

2.1.3 Penanggulangan Sampah Plastik

Penggunaan plastik ramah lingkungan yang dapat didegradasi dalam waktu yang relatif singkat (plastik *biodegradable*) sebagai substitusi plastik berbahan baku petrokimia merupakan salah satu solusi pemecahan masalah lingkungan akibat limbah plastik. Kebutuhan dunia akan plastik *biodegradable* semakin meningkat dari tahun ke tahun. Potensi pasar plastik biodegradable saat ini cukup besar, yaitu mencapai 1,2 juta ton pada tahun 2010. Industri plastik biodegradable akan berkembang menjadi industri besar di masa yang akan datang (Pranamuda, 2001).

Menurut Ir. Sah Johan Ali Nasiri, Ph.D, Senior Advisor Sentra Teknologi Polimer, BPPT, kehidupan *modern* ini tidak bisa terlepas dari plastik. Pertumbuhan penggunaan plastik di negara maju diperkirakan mencapai 4%, sedangkan di Indonesia kemungkinan lebih tinggi lagi karena kebutuhan masih sekitar 10 kg/orang per tahun sementara di negara maju mencapai 50 kg/hari per tahun. Hal tersebut, memberikan gambaran mengenai potensi pengembangan kemasan plastik *biodegradable*. Penggunaan kemasan *biodegradable* diharapkan

dapat menjadi alternatif solusi bagi permasalahan limbah plastik, lingkungan, dan pemanasan global.

Dari berbagai masalah yang ditimbulkan oleh plastik sintetik, terdapat sebuah konsep yang merupakan solusi dari masalah tersebut, yaitu pembuatan plastik *biodegradable*. Namun, Hasil dari pembuatan plastik *biodegradable* masih terdapat kekurangan, plastik *biodegradable* yang dihasilkan masih memiliki kekuatan dan elastisitas yang rendah sehingga perlu adanya optimasi hasil pembuatan plastik *biodegradable*.

Kemasan ramah lingkungan merupakan sebuah konsep mengenai pengemas produk, baik produk pangan atau non pangan yang tidak mengganggu kestabilan lingkungan apabila mengalami kontak dengan unsur-unsur lingkungan, seperti air, udara, dan tanah (Bastioli, 2005). Kemasan yang dimaksud adalah kemasan dari plastik. Pada awalnya plastik kebanyakan dibuat dari minyak bumi dan bersifat *nonbiogradable*. Plastik sintetik mempunyai kestabilan fisiko-kimia yang sangat kuat sehingga plastik sangat sukar terdegradasi secara alami (Suyatma, 2007).

Oleh karena itu plastik dianggap tidak ramah lingkungan karena sifatnya yang tidak bisa didegradasi secara biologi ditanah dan tentunya akan mencemari tanah. Jika plastik ini dihancurkan dengan cara yang lain misalnya pembakaran, maka akan menghasilkan gas CO₂ yang akan semakin memperparah pemanasan global (Bastioli, 2005).

Berdasarkan fakta dan kajian ilmiah yang ada serta meningkatnya kesadaran masyarakat akan pentingnya kesehatan dan lingkungan lestari, mendorong dilakukannya penelitian dan pengembangan teknologi bahan kemasan yang *biodegradable*. Saat ini penelitian dan pengembangan teknologi bahan kemasan *biodegradable* terarah pada usaha membuat pengemas yang mempunyai sifat seperti plastik yang berbasiskan bahan alami dan mudah terurai.

Penggunaan pati sebagai bahan baku pembuatan plastik *biodegradable* ini ternyata menimbulkan masalah baru, yaitu krisis pangan. Hal ini disebabkan pati, selain sebagai bahan baku plastik *biodegradable*, juga berfungsi sebagai sumber pangan bagi manusia. Dengan demikian, pemanfaatan pati sebagai bahan baku pembuatan plastik *biodegradable* akan berkompetisi dengan penggunaan pati

sebagai sumber pangan bagi manusia. Oleh karena itu, untuk mengatasi munculnya permasalahan krisis bahan pangan akibat terbatasnya suplai sumber pati, diperlukan sumber daya lain yang dapat dijadikan bahan baku pembuatan plastik *biodegradable* salah satunya dengan memanfaatkan pati gadung. Dan dibutuhkan adanya alternatif bahan plastik yang diperoleh dari bahan yang mudah didapat dan tersedia di alam dalam jumlah besar dan murah tetapi mampu menghasilkan produk dengan kekuatan yang sama atau bahkan lebih baik.

2.2 Plastik *Biodegradable*

2.2.1 Pengertian *Biodegradable*

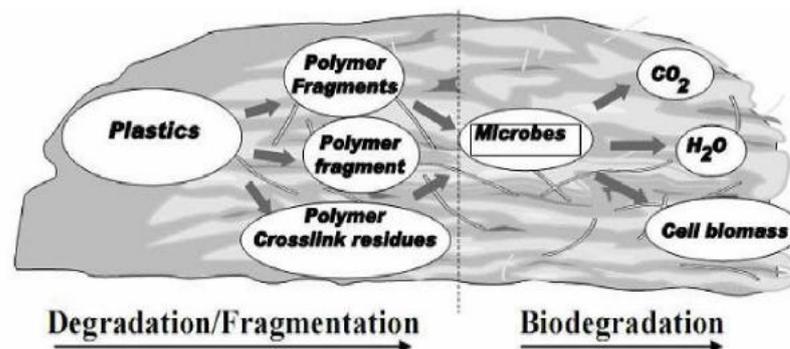
Secara umum, kemasan *biodegradable* diartikan sebagai *film* kemasan yang dapat didaur ulang dan dapat dihancurkan secara alami. Stevens (2001), plastik *biodegradable* disebut juga bioplastik yaitu plastik yang seluruh atau hampir seluruh komponennya berasal dari bahan baku yang dapat diperbaharui.

Menurut Griffin (1994), plastik *biodegradable* adalah suatu bahan dalam kondisi tertentu, waktu tertentu mengalami perubahan dalam struktur kimianya, yang mempengaruhi sifat-sifat yang dimilikinya karena pengaruh mikroorganisme (bakteri, jamur, alga). Sedangkan Seal (1994), kemasan plastik *biodegradable* adalah suatu material polimer yang merubah pada senyawa yang berat molekul rendah dimana paling sedikit satu tahap pada proses degradasinya melalui metabolisme organisme secara alami.

Menurut Pranamuda (2001), plastik *biodegradable* adalah plastik yang dapat digunakan layaknya seperti plastik konvensional, namun akan hancur terurai oleh aktivitas mikroorganisme menjadi hasil akhir air dan gas karbondioksida setelah habis terpakai dan dibuang ke lingkungan. Plastik *biodegradable* merupakan bahan plastik yang ramah terhadap lingkungan karena sifatnya yang dapat kembali ke alam. Secara umum, kemasan biodegradable diartikan sebagai film kemasan yang dapat didaur ulang dan dapat dihancurkan secara alami.

Pada dasarnya *film* kemasan mensyaratkan sifat-sifat fleksibel, dapat-dicetak, tidak berbau, mampu menghambat keluar masuknya gas dan uap air, serta transparan. Di samping bersifat dapat dihancurkan secara alami maupun

mikrobiologis, bahan bioplastik sebaiknya mudah diperoleh dengan siklus waktu penyediaan yang singkat (Paramawati, 2007). Bahan pertanian yang mempunyai potensi untuk pembuatan *film* kemasan ramah lingkungan antara lain adalah polisakarida. Dengan mempertimbangkan segi kebutuhan komparatif, polisakarida dari hasil pertanian bernilai lebih murah karena tersedia melimpah. Oleh karena itu, Indonesia dapat menjajaki kelayakan teknisnya sebagai bahan bioplastik. Beberapa penelitian terhadap polisakarida jenis pati sebagai bahan bioplastik telah dilakukan dengan menggunakan gandum (Bhatnagar dan Hanna 1995, Gennadios dan Weller 1990), biji kapas (Marquie eta/. 1995), beras dan kacang polong (Mehyar dan Han 2004), dan beberapa pati tropis (Pranamuda 2001).



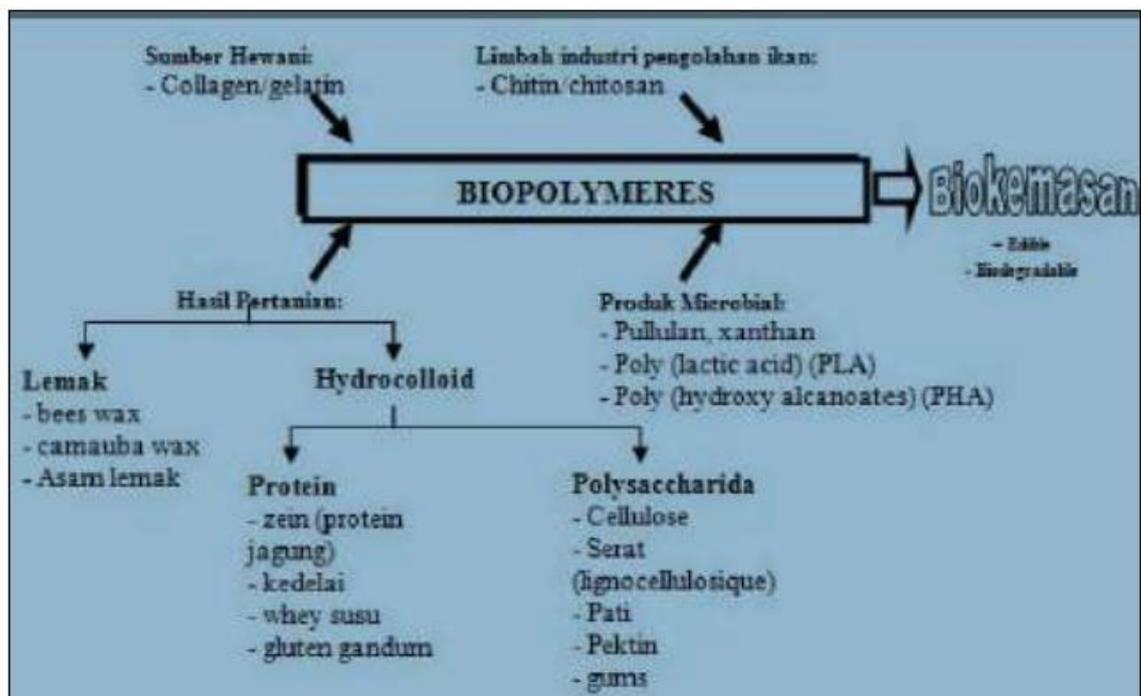
Gambar 1. Mekanisme degradabilitas plastik *biodegradable* (Narayan,2003)

Berdasarkan sumber atau cara memperolehnya, Tharanathan (2003) mengklasifikasikan biopolimer sebagai bahan baku bio-kemasan menjadi tiga kelompok dan dapat dilihat pada Gambar 2 berikut ini. Kelompok 1 yaitu : biopolimer yang berasal dari sumber hewan yaitu; *collagen gelatin*, kelompok 2 adalah biopolimer yang berasal dari limbah industri pengolahan ikan yaitu *chitin/chitosan*, kelompok 3 berasal dari pertanian yaitu diklasifikasikan menjadi 2 bagian yaitu lemak dan *hydrocolloid*.

Yang berasal dari lemak terdiri dari : *bees wax, camauba wax*, asam lemak; sedangkan dari *hydrocolloid* dibagi menjadi 2 bagian yaitu: protein dan *polysacharida*. *hydrocolloid* yang berasal dari protein adalah: *zein* (protein jagung), kedelai, *whey* susu, *glutera* gandum sedangkan *hydrocolloid* yang berasal

dari *polysacharida* adalah : *cellulosa*, serat, pati, pektin, *garns*. Selain dari polimer alami, ada beberapa zat sintetis yang merupakan campuran antara zat petrokimia dengan biopolimer dan atau biopolimer yang telah mengalami perlakuan yang kompleks tetap tetap memiliki sifat *biodegradable*, contohnya adalah *poly alkilene esters*, *poly lactic acid*, *poly amid esters*, *poly vinil esters*, *poly vinil alcohol*, dan *poly anhidrides*.

Polimer mikrobiologi (*polyester*) : biopolimer ini dihasilkan secara bioteknologi atau fermentasi dengan mikroba genus *Alcaligenes* . Biopolimer jenis ini diantaranya polihidroksi butirat (PHB), polihidroksi valerat (PHV), asam polilaktat (*polylactic acid*) dan asam poliglikolat (*polyglycolic acid*). Bahan ini dapat terdegradasi secara penuh oleh bakteri, jamur dan alga. Namun oleh karena proses produksi bahan dasarnya yang rumit mengakibatkan harga kemasan *biodegradable* ini relatif mahal. Berikut ini Gambar 2. Polimer *biodegradable* sebagai bahan biokemasan.

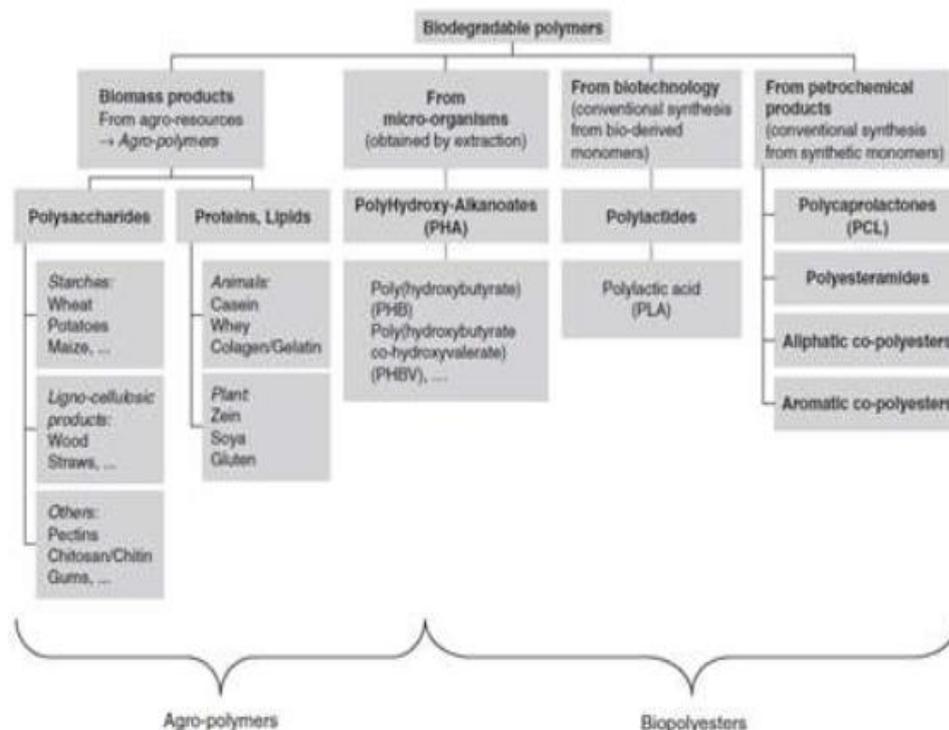


Gambar 2. Polimer *Biodegradable* sebagai bahan biokemasan

Sumber: Tharanathan, 2003

Berdasarkan bahan baku yang digunakan plastik *biodegradable* dikelompokkan menjadi dua, yaitu kelompok dengan bahan baku petrokimia (*non-renewable resources*) dengan bahan aditif dari senyawa bio-aktif yang bersifat *biodegradable* dan kelompok kedua dari semua bahan bakunya berasal dari sumber daya alam terbarukan (*renewable resources*), seperti dari bahan tanaman pati dan selulosa serta hewan seperti cangkang atau mikroorganisme yang dimanfaatkan untuk mengakumulasi plastik yang berasal dari sumber tertentu misalnya lumpur aktif dan limbah cair yang kaya akan bahan-bahan organik sebagai sumber makanan bagi mikroorganisme tersebut (Wikipedia, 2009; Adam *et al*, 2009).

Averous (2008), mengelompokkan polimer *biodegradable* ke dalam dua kelompok dan empat keluarga berbeda berikut ini klasifikasi polimer *biodegradable* yang dapat dilihat pada Gambar 3. berikut ini.



Gambar 3. Klasifikasi Polimer *Biodegradable*

Sumber: Averous, 2008

Pada Gambar 3 Kelompok utama adalah: (1) *agro-polymer* yang terdiri dari polisakarida, protein dan sebagainya; dan (2) biopoliester (*biodegradable polyesters*) seperti poli asam laktat (PLA), *poly hydroxy alkanoate* (PHA), aromatik and alifatik kopoliester. Biopolimer yang tergolong *agro-polymer* adalah produk-produk biomassa yang diperoleh dari bahan-bahan pertanian. seperti polisakarida, protein dan lemak. Biopoliester dibagi lagi berdasarkan sumbernya. Kelompok *Polyhydroxy-alkanoate* (PHA) didapatkan dari aktivitas mikroorganisme yang didapatkan dengan cara ekstraksi. Contoh PHA diantaranya *Poly (hydroxybutyrate)* (PHB) dan *Poly (hydroxy butyrate co-hydroxy valerate)* (PHBV). Kelompok lain adalah biopoliester yang diperoleh dari aplikasi bioteknologi, yaitu dengan sintesa secara konvensional monomer-monomer yang diperoleh secara biologi, yang disebut kelompok polilaktida. Contoh polilaktida adalah poli asam laktat. Kelompok terakhir diperoleh dari produk-produk petrokimia yang disintesa secara konvensional dari monomer-monomer sintesis. Kelompok ini terdiri dari *poly capro lactones* (PCL), *polyester amides*, *aliphatic co-polyesters* dan *aromatic co-polyesters*.

2.2.2 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Pembuatan Plastik *Biodegradable*

Dalam pembuatan plastik *biodegradable* ada beberapa faktor yang harus diperhatikan seperti:

1. Temperatur

Perlakuan suhu diperlukan untuk membentuk plastik *biodegradable* yang utuh tanpa adanya perlakuan panas kemungkinan terjadinya interaksi molekul sangatlah kecil sehingga pada saat plastik dikeringkan akan menjadi retak dan berubah menjadi potongan-potongan kecil. Perlakuan panas diperlukan untuk membuat plastik tergelatinisasi, sehingga terbentuk pasta pati yang merupakan bentuk awal dari plastik. Kisaran suhu gelatinisasi pati rata-rata 64,5°C-70°C (Mc Hugh dan Krochta, 1994).

2. Konsentrasi Polimer

Konsentrasi pati ini sangat berpengaruh terutama pada sifat fisik plastik yang dihasilkan dan juga menentukan sifat pasta yang dihasilkan. Menurut Krochta dan

Johnson (1997), semakin besar konsentrasi pati maka jumlah polimer penyusun matrik plastik semakin besar sehingga dihasilkan plastik yang tebal.

3. *Plasticizer*

Plasticizer ini merupakan bahan *nonvolatile* yang ditambah kedalam formula plastik akan berpengaruh terhadap sifat mekanik dan fisik plastik yang terbentuk karena akan mengurangi sifat intermolekul dan menurunkan ikatan hidrogen internal. *Plasticizer* mempunyai titik didih tinggi dan penambahan *plasticizer* diperlukan untuk mengatasi sifat rapuh plastik yang disebabkan oleh kekuatan intermolekul ekstensif (Gotard et al., 1993). Menurut Krocht dan Jonhson (1997), *plasticizer* polyol yang sering digunakan yakni gliserol dan sorbitol.

2.3 *Poly Lactic Acid (PLA)*

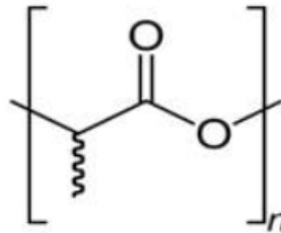
2.3.1 Pengertian PLA

Asam laktat (*lactic acid*) adalah salah satu asam organik yang penting di industri, terutama di industri makanan. Di samping itu, penggunaannya sekarang lebih luas karena bisa dipakai sebagai bahan baku pembuatan *poly lactic acid*, *biodegradable* plastik yang merupakan polimer dari asam laktat (Datta et al. 1995; Hofvendahl and Hahn-Hagerdal 2000).

Pengolahan bahan baku pati cukup mudah dilakukan dengan melibatkan proses fermentasi asam laktat menjadi *Poly Lactic Acid (PLA)*. PLA memiliki sifat mirip dengan plastik konvensional (Pranamuda, 2001).

Salah satu jenis *biodegradable* poliester adalah Poli asam laktat (*poly lactic acid*). Poli asam laktat (PLA) ditemukan pada tahun 1932 oleh Carothers (DuPont) yang memproduksi PLA dengan berat molekul rendah dengan memanaskan asam laktat pada kondisi vakum. Pada tahap selanjutnya, DuPont dan Ethicon memfokuskan pembuatan aplikasi *medical grade sutures*, implan dan kemasan obat. Baru-baru ini, beberapa perusahaan seperti Shimadzu dan Mitsui Tuatsu di Jepang telah memproduksi sejumlah PLA untuk aplikasi plastik. Poli asam laktat atau Poli laktida (PLA) dengan rumus kimia $(\text{CH}_3\text{CHOHCOOH})_n$ adalah sejenis polimer atau plastik yang bersifat *biodegradable*, termoplastik dan merupakan poliester alifatik yang terbuat dari bahan-bahan terbarukan seperti pati

jagung, pati ubi dan sebagainya. Walaupun PLA sudah dikenal sejak abad yang lalu, namun baru diproduksi secara komersial dalam beberapa tahun terakhir dengan keunggulannya yaitu memiliki kemampuan untuk terdegradasi secara biologi.

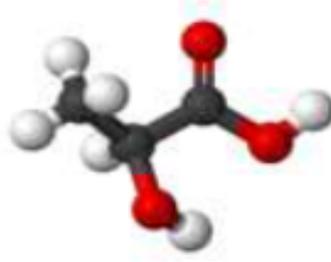


Gambar 4. Rumus Struktur *Poly* Asam Laktat

Sumber: (http://en.wikipedia.org/wiki/Lactic_acid).

Pada Gambar 4. terdapat rumus struktur *Poly* Asam Laktat, yang secara struktur *Poly* asam laktat adalah asam karboksilat dengan satu gugus (hidroksil) yang menempel pada gugus karboksil. Asam laktat larut dalam air dan etanol serta bersifat higroskopik. Dalam air, ia terlarut lemah dan melepas proton (H^+), membentuk ion laktat. Asam ini juga larut dalam alkohol dan bersifat menyerap air (higroskopik).

Langkah pertama dalam sintesa PLA adalah produksi asam laktat. Asam laktat (IUPAC: *2-hydroxy propanoic acid*) yang biasa disebut sebagai asam susu adalah salah satu bahan kimia yang berperan penting dalam industri biokimia. Asam laktat pertama kali berhasil diisolasi oleh ahli kimia Swedia, Carl Wilhelm Scheele pada tahun 1780. Asam laktat mempunyai rumus kimia $C_3H_6O_3$, termasuk keluarga asam hidroksi propionat dengan rumus molekul $CH_3CHOHCOOH$. Berikut ini adalah gambar struktur molekul asam laktat.



Gambar 5. Struktur Molekul Asam Laktat

Sumber: http://en.wikipedia.org/wiki/Lactic_acid)

Asam laktat adalah cairan pekat tak berwarna, tak berbau, larut di dalam air dalam berbagai perbandingan, alkohol dan eter tetapi tidak larut dalam kloroform. Senyawa ini termasuk asam lemah dengan daya penguapan yang rendah. Menurut Botelho et al (2004), kelebihan PLA dibandingkan dengan plastik yang terbuat dari minyak bumi adalah:

1. *Biodegradable* artinya PLA dapat diuraikan secara alami di lingkungan oleh mikroorganisme.
2. *Biocompatible* dimana pada kondisi normal, jenis plastik ini dapat diterima oleh sel atau jaringan biologi.
3. Dihasilkan dari bahan yang dapat diperbaharui (termasuk sisa industri) dan bukan dari minyak bumi.
4. 100% *recyclable* melalui proses hidrolisis asam laktat dan digunakan kembali untuk aplikasi yang berbeda atau bisa digabungkan untuk menghasilkan produk lain.
5. Tidak menggunakan pelarut organik/bersifat racun dalam memproduksi PLA.
6. Dapat dibakar sempurna dan menghasilkan gas CO₂ dan air.

Saat ini, PLA sudah digunakan untuk beragam aplikasi, diantaranya dibidang medis, kemasan dan tekstil. Dibidang medis, PLA sudah lama digunakan sebagai benang jahit pada saat operasi serta bahan pembungkus kapsul. Selain itu, pada dasawarsa terakhir PLA juga dikembangkan dalam upaya perbaikan jaringan

tubuh manusia. PLA juga telah dikembangkan untuk pembuatan kantong plastik (*retail bags*), kontainer, bahkan *edible film* untuk sayuran dan buah. Dalam bentuk film dan bentuk *foam* digunakan untuk pengemas daging, produk susu, atau roti. Dapat juga digunakan dalam bentuk botol dan cangkir sekali pakai untuk kemasan air, susu, jus dan minuman lainnya. Piring, mangkok, nampan, tas, film pertanian merupakan penggunaan lain dari jenis plastik ini. Selain itu dibidang tekstil PLA juga telah diaplikasikan untuk pembuatan kaos dan tas. Di Jepang, PLA bahkan sudah dikembangkan sebagai bahan dasar pembuatan *Compact Disc* (CD) oleh Sanyo.

Poli asam laktat (*polylactic acid*, PLA) adalah polimer *biodegradable* yang paling berkembang dibandingkan jenis-jenis polimer lainnya sebab polimer ini bersifat termoplastis sehingga mudah dibentuk oleh pemanasan. Selain itu suhu transisi kacanya (T_g) sekitar 60°C sehingga mampu digunakan untuk mengemas sebagian besar makanan tanpa mengalami degradasi (Tuominen, 2003). Polimer ini juga tahan terhadap pelarut, serta dapat berfungsi sebagai penahan migrasi flavor maupun gas-gas lain seperti beberapa plastik konvensional, yaitu plastik polietilena tereftalat (PET) yang cukup populer sebagai pengemas minuman ringan dan produk-produk makanan lainnya.

2.3.2 Prospek Perkembangan PLA di Indonesia

Upaya pengembangan teknologi kemasan plastik *biodegradable* dewasa ini berkembang sangat pesat. Berbagai riset telah dilakukan di negara maju (Jerman, Prancis, Jepang, Korea, Amerika Serikat, Inggris dan Swiss) ditujukan untuk menggali berbagai potensi bahan baku biopolimer. Di Jerman, pengembangan untuk mendapatkan polimer *biodegradable* pada *poly hydroxy butyrate* (PHB), Jepang (*chitin* dari kulit *Crustaceae*, *zein* dari jagung). Aktivitas penelitian lain yang dilakukan adalah bagaimana mendapatkan kemasan termoplastik *degradable* yang mempunyai masa pakai (*life times*) yang relatif lebih lama dengan harga yang lebih murah. Pengembangan lain yang sangat penting adalah perbaikan sifat-sifat fisik dan penggunaan bahan pemlastis.

Kendala utama yang dihadapi dalam pemasaran kemasan ini adalah harganya yang relatif tinggi dibandingkan film kemasan PE. Biaya produksi yang tinggi berasal dari komponen bahan baku (sumber karbon), proses fermentasi (isolasi dan purifikasi polimer) dan investasi modal.

Sebenarnya prospek pengembangan biopolimer untuk kemasan plastik *biodegradable* di Indonesia sangat potensial. Alasan ini didukung oleh adanya sumber daya alam, khususnya hasil pertanian yang melimpah dan dapat diperoleh sepanjang tahun. Berbagai hasil pertanian yang potensial untuk dikembangkan menjadi biopolimer adalah jagung, sagu, kacang kedelai, kentang, tepung tapioka, ubi kayu (nabati) dan kitin dari kulit udang (hewani) dan lain sebagainya. Kekayaan akan sumber bahan dasar seperti tersebut di atas, justru sebaliknya menjadi persoalan potensial yang serius pada negara-negara yang telah maju dan menguasai ilmu dan teknologi kemasan *biodegradable*, khususnya di Jerman. Negara tersebut dengan penguasaan IPTEK yang tinggi di bidang teknologi kemasan, merasa khawatir kekurangan sumber bahan dasar (*raw materials*) dan akan menjadi sangat tergantung pada negara yang kaya akan sumber daya alam.

Pada tahun 2005 Liesbetini Hartono, dkk melakukan penelitian, yaitu Rekayasa proses produksi poli asam laktat (PLA) dari pati sagu sebagai bahan baku plastik *biodegradable* dengan menggunakan variasi jenis bakteri dan kondisi operasi proses fermentasi untuk menghasilkan asam laktat dan dengan proses polimerisasi kondensasi langsung dapat dihasilkan PLA.

Pada tahun 2006, Hanny Widjaja, dkk melakukan penelitian mengenai sintesa PLA dari Limbah Pembuatan *Indigenous Starch* untuk Pembuatan Plastik Ramah Lingkungan, dimana pada penelitian ini variasi yang dipakai adalah jenis bakteri untuk fermentasi, dimana nantinya diperoleh bakteri yang terbaik untuk menghasilkan Asam Laktat, dengan proses polikondensasi azeotropik dapat dihasilkan PLA. Ery Susiany Retnoningtyas, dkk melakukan penelitian mengenai pembuatan plastik *biodegradable* dari kulit pisang.

Pada tahun 2009, Yusmarlela melakukan penelitian dengan judul Studi Pemanfaatan Plastiser Gliserol Dalam Film Pati Ubi Dengan Pengisi Serbuk Batang Ubi Kayu.

Masih dengan menggunakan variasi kondisi operasi fermentasi untuk menghasilkan PLA. Kebanyakan penelitian yang dilakukan di Indonesia adalah dengan variasi bahan baku untuk memperoleh bahan alam apa yang paling sesuai untuk membuat PLA dan juga proses fermentasi bukan dengan variasi katalis. Penelitian yang pernah dilakukan yaitu sintesis PLA dengan bahan baku yang berasal dari pati sagu, limbah *indigenous* pati, kulit pisang, pati singkong, pati jagung, kulit udang, talas, dan lain sebagainya.

PLA memiliki sifat properties yang cukup baik jika digunakan sebagai aplikasi pengganti plastik konvensional. Aplikasi PLA yang telah dikembangkan saat ini diantaranya di bidang medis, pengemasan makanan, *edible film*, tekstil bahkan *casing* barang elektronik ringan. Perkembangan plastik *biodegradable* di Indonesia, khususnya PLA masih terkendala masalah teknologi dan investasi, sementara tersedia bahan baku yang melimpah.

2.4 Gadung

2.4.1 Taksonomi

Secara taksonomi gadung dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

Klasifikasi ilmiah

Kerajaan	: Plantae – Plants
Subkingdom	: Tracheobionta – Vascular plants
Superdivision	: Spermatophyta – Seed plants
Division	: Magnoliophyta – Flowering plants
Class	: Liliopsida – Monocotyledons
Subclass	: Liliidae
Ordo	: Dioscoreales
Family	: Dioscoreaceae – Yam family
Genus	: <i>Dioscorea</i> L. – Yam
Species	: <i>Dioscorea hispida</i> Dennst. – <i>intoxicating yam</i>

Nama binomial

Dioscorea hispida Dennst.

2.4.2 Morfologi



Gambar 6. Gadung

Sumber: (http://en.wikipedia.org/wiki/Umbi_gadung).

Tanaman berumbi adalah salah satu kekayaan nabati di alam kita, diantaranya adalah gadung. Jenis ini di Indonesia dikenal dengan beberapa nama daerah yaitu gadung, sekapa, bitule, bati, kasimun, dan lain-lainnya. Dalam bahasa latinnya gadung disebut *Dioscorea hispida* Dennst.

Gadung merupakan perdu memanjat yang tingginya dapat mencapai 5-10 m. Batangnya bulat, berbentuk galah, berbulu, dan berduri yang tersebar sepanjang batang dan tangkai daun. Umbinya bulat diliputi rambut akar yang besar dan kaku. Kulit umbi berwarna gading atau coklat muda, daging umbinya berwarna putih gading atau kuning. Umbinya muncul dekat permukaan tanah. Dapat dibedakan dari jenis-jenis *dioscorea* lainnya karena daunnya merupakan daun majemuk terdiri dari 3 helai daun (*trifoliolatus*), warna hijau, panjang 20-25 cm, lebar 1-12 cm, helaian daun tipis lemas, bentuk lonjong, ujung meruncing (*acuminatus*), pangkal tumpul (*obtusus*), tepi rata, pertulangan melengkung (*dichotomous*), permukaan kasar (*scaber*). Bunga tersusun dalam ketiak daun (*axillaris*), berbulit, berbulu, dan jarang sekali dijumpai. Perbungaan jantan berupa malai atau tandan, panjang antara 7-55 cm, perbungaan betina berupa bulir, panjang antara 25-65 cm. Buah lonjong, panjang kira-kira 1 cm, berwarna coklat atau kuning kecoklatan bila tua. Akar serabut.

Gadung ini berasal dari India bagian Barat kemudian menyebar luas sampai ke Asia Tenggara. Tumbuh pada tanah datar hingga ketinggian 850 m dpl, tetapi dapat juga diketemukan pada ketinggian 1.200 m dpl. Di Himalaya *Dioscorea hispida* di budidayakan di pekarangan rumah atau tegalan, sering pula dijumpai di hutan-hutan tanah kering. Umbinya sangat beracun karena mengandung alcohol yang menimbulkan rasa pusing-pusing. Dengan cara pengolahan khusus akhirnya dapat dimakan.

2.4.3 Jenis – jenis Gadung

Berdasarkan warna daging umbinya, gadung dapat dikelompokkan menjadi 2, yaitu gadung putih dan kuning. Gadung kuning umumnya lebih besar dan padat umbinya bila dibandingkan gadung putih. Jumlah umbi dalam satu kelompok dapat mencapai 30 umbi, dan jumlah umbi ini dari masing-masing varietas hampir tidak berbeda.

Dari umbinya gadung ini pun dibagi ke dalam beberapa varietas antara lain :

1. Gadung betul, gadung kapur, gadung putih (Melayu & Jawa). Kulit umbinya berwarna putih serta daging berwarna putih atau kuning.
2. Gadung kuning, gadung kunyit, gadung padi (Melayu). Kulit umbinya berwarna kuning dan begitu pula dengan dagingnya; permukaannya beralur lembut dan panjang.
3. Gadung srintil (Jawa). Ukuran tandan umbinya antara 7 cm sampai 15 cm dengan diameter 15 cm sampai 25 cm.
4. Gadung lelaki (Melayu). Duri pada batang tidak terlalu banyak, warnanya hijau keabu-abuan. Bagian dalam umbi berwarna putih kotor, berserat kasar serta agak kering.

2.4.4 Budidaya Gadung

1. Bibit dan Waktu Tanam

Biasanya gadung diperbanyak dengan menggunakan umbi atau bijinya walaupun perbanyak dengan stek masih dimungkinkan. Tetapi biasanya hasil panennya kurang memuaskan dibandingkan dengan umbi. Perbanyak

menggunakan biji juga kurang umum diterapkan. Gadung sebaiknya ditanam di awal musim hujan karena tanama ini tidak ekonomis atau tidak umum di tanam di areal yang beririgasi teratur. Di areal dengan musim hujan kurang dari 8 bulan, penanaman awal sampai dengan 3 bulan sebelum datangnya musim hujan dapat meningkatkan hasil sebesar 30 %.

Seiring perkembangan teknologi, selain memperbanyak secara alami dengan umbi atau biji gadung dapat diperbanyak dengan teknik kultur *in vitro*. Dengan cara ini gadung dapat diperbanyak lebih cepat.

2. Pemanenan



Gambar 7. Umbi Gadung

Sumber: (http://en.wikipedia.org/wiki/Umbi_gadung).

a. Masa panen

Panen dapat dilakukan setelah tanaman berumur 12 bulan. Pada budidaya tanaman ini dikenal istilah panen tunggal (*single harvesting*) dan panen ganda (*double harvesting*). Pada panen tunggal, tanaman dipanen setelah musim berakhir. Pemanenan dilakukan setelah sebagian besar daun menguning. Pemanenan ini dilaksanakan 1 bulan sebelum penuaan (*senescence*) sampai 12 bulan sesudahnya. Pemanenan juga bisa ditangguhkan pada musim berikutnya.

Pemanenan yang demikian dapat meningkatkan jumlah dan berat umbi yang dipanen.

b. Penyimpanan

Sangat sedikit gadung yang setelah dipanen kemudian diproses lebih lanjut, umbi harus disimpan dalam bentuk segar. Sebelum umbi disimpan atau diproses lebih lanjut, umbi dibersihkan dari kotoran-kotoran seperti memotong akarnya dan membuang tanah yang masih melekat pada permukaan umbi. Ini bisa dilakukan dengan mencuci di air bersih dan mengalir dengan menggunakan sikat halus yang terbuat dari ijuk aren bila perlu. Selain itu sebelum disimpan, umbi segar dipanaskan (*curing*) pada suhu 29-32°C dengan kelembaban relatif (*relative humidity*) yang tinggi. Proses ini membantu meningkatkan corak dan pengobatan luka pada kulit umbi.

Terdapat 3 faktor yang diperlukan agar penyimpanan berlangsung efektif, yaitu :

1. Aerasi harus dijaga dengan baik. Hal ini diperlukan untuk menjaga kelembaban kulit umbi, sehingga mengurangi serangan mikroorganisme. Aerasi juga diperlukan agar umbi dapat berespirasi atau bernafas dan menghilangkan panas akibat respirasi tersebut.
2. Suhu harus dijaga antara 12-15 ° C. Karena penyimpanan dengan suhu yang lebih rendah menyebabkan kerusakan umbi (*deterioration*) dan warna umbinya berubah menjadi abu-abu. Sedangkan penyimpanan pada suhu yang lebih tinggi membuat respirasi menjadi tinggi yang menyebabkan umbi kehilangan banyak berat keringnya. Secara tradisional, petani menyimpan umbi pada ruang yang teduh atau tertutup.
3. Pengawasan harus dilakukan secara teratur. Umbi yang rusak harus segera dikeluarkan sebelum menginfeksi yang lain, dan mengawasi kemungkinan serangan oleh tikus atau serangga.

2.4.5 Pengolahan Umbi Gadung

Umbi gadung sebelum dikonsumsi atau dimasak, terlebih dahulu harus dihilangkan racunnya, karena dapat menimbulkan pusing bagi yang memakannya. Umbi gadung mengandung racun atau zat alkaloid yang disebut *dioscorin*

($C_{13}H_{19}O_2 N$), dimana racun ini apabila dikonsumsi walaupun kadarnya rendah dapat menyebabkan pusing. Pada gadung kadar *dioscorin* ini sangat tinggi sehingga apabila tidak dilakukan pengolahan dengan benar dapat menimbulkan akibat yang fatal.

Selain mengandung *dioscorin* umbi gadung juga mengandung asam sianida yang juga bersifat racun. Sianida merupakan salah satu kategori limbah bahan berbahaya dan beracun yang banyak dijumpai pada berbagai limbah lingkungan. Bahkan menurut Brachet,^J sianida merupakan racun bagi semua makhluk hidup dan juga dapat menghambat pernapasan juga dapat mengakibatkan perkembangan sel yang tidak sempurna.^[10] Selanjutnya sianida dapat menghambat kerja enzim ferisitokrom oksidase dalam proses pengambilan oksigen untuk pernapasan.

Untuk menghilangkan racun tersebut dapat dilakukan dengan beberapa cara antara lain :

1. Pengolahan dengan Abu atau Kapur

Penggunaan abu atau kapur ini difungsikan untuk mempercepat pelucutan HCN yang terkandung dalam umbi gadung.^[12]

Umbi dibersihkan dari tanah yang masih melekat dan langsung dikupas kulitnya, pengupasan kulit harus cukup tebal, setelah dikupas umbi dipotong-potong atau diserut sesuai keperluan, kemudian dicampur dengan abu, dalam hal ini abu berfungsi sebagai penetral racun yang terdapat dalam umbi. Selain abu bisa juga dipergunakan kapur. Pencampuran abu atau kapur dengan irisan-irisan umbi dilakukan pada keranjang yang beranyam jarang, kemudian diinjak-injak sampai cairan yang mengandung racun itu keluar. Selanjutnya umbi diperam selama 2 x 24 jam di atasnya diberi pemberat agar umbi tetap tertekan. Setelah diperam, umbi yang bercampur dengan abu atau kapur itu dijemur sampai kering. Umbi yang telah kering kemudian dibersihkan dengan cara merendamnya kedalam air mengalir selama 2 x 24 jam, sambil diinjak-injak setiap harinya. Umbi sudah siap dimasak.

2. Pengolahan dengan Garam

a. Pemberian Garam Berlapis

Umbi dibersihkan dari tanah langsung dikupas kulitnya, pengupasan kulitnya dilakukan setebal mungkin, kupasan umbi diiris tipis-tipis atau diserut, keranjang bambu dilapisi garam, kemudian diberi irisan umbi satu lapis, dilapisi garam lagi dan kemudian dilapisi umbi lagi, begitu seterusnya sampai keranjang penuh. Bagian terakhir dari lapisan ditutup dengan kain lalu diberi pemberat dan diperam selama satu minggu. Pekerjaan terakhir umbi dicuci dalam air yang mengalir sampai garam dan racunnya hilang. Umbi yang telah bersih dapat dicirikan oleh airnya yang jernih dan tidak terasa asin.

b. Pemberian Garam Diaduk

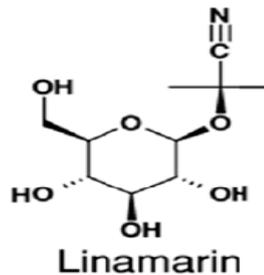
Umbi dibersihkan dari tanah dan langsung dikupas kulitnya, kupasan umbi diiris tipis-tipis atau diserut. Hasilnya dimasukkan kedalam tong atau ember plastik, masukkan garam sebanyak mungkin dan aduk sampai rata, serta irisan menjadi lemas, biarkan dalam rendaman garam selama satu malam. Cuci rendaman di air mengalir dan bersih sampai garamnya hilang betul / sampai tidak terasa asin. Rendam umbi tadi didalam air tawar dan ganti setiap 3 jam sekali selama 3 hari ; bila direndam di air mengalir atau dibawah pancuran, umbi bisa dimasukkan kedalam keranjang yang beranyam jarang sehingga air dapat masuk dan mengalir dengan mudahnya, waktu yang diperlukan dalam perendaman sekitar 3 hari. Angkat umbi dari tempat rendaman dan kukus atau dijemur sampai kering. Cara-cara diatas dapat menurunkan HCN dalam gadung kurang lebih 1-10 mg dalam setiap kilogram gadung yang diolah.

2.5 Sianida

2.5.1 Pengertian

Glikosida sianogenik merupakan senyawa yang terdapat dalam bahan makanan nabati dan secara potensial sangat beracun karena dapat terurai dan meeluarkan hidrogen sianida. Glikosida sianogenik juga terdapat pada berbagai tanaman dengan nama senyawa yang berbeda seperti amigladin pada biji almonds, aprikot dan apel, dhurin pada biji sorghum, dan linamarin pada kara (*lima bean*)

dan singkong. Nama kimia bagi amigladin adalah glukosida benzaldehida sianohidrin: durin: glukosida *p*-hidroksi-benzaldehida sianohidrin: linamarin : glukosida aseton sianohidrin.



Gambar 8. Linamarin

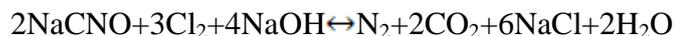
Sumber: Winarno, 1992

Sianida sebagai hidrogen sianida, atau salah satu garamnya yang banyak digunakan dalam elektroplating, adalah racun yang bertindak sangat cepat (reaktif). Sianida tidak stabil dalam air dan dapat dihilangkan dengan perlakuan biologi atau dengan klorinasi. Hal ini mungkin terjadi dalam air hanya sebagai hasil dari tumpahan bahan kimia (Dean, 1981).

Sianida dapat terbentuk sebagai sianida bebas, seperti HCN, dan di dalam bentuk persenyawaan garam seperti KCN dan NaCN, kompleks sianida yang stabil terdapat dalam jumlah yang sedikit seperti $K_4Fe(CN)_6$. Pada proses pengolahan, umumnya sianida dioksidasi dengan klorin atau hipoklorit di dalam suasana basa. Oksidasi sebagian menjadi sianat (CNO^-) biasanya tercapai pada pH antara 9-10.



Sianat (CNO^-) bersifat kurang beracun bila dibandingkan dengan sianida dan akan dihidrolisis pada suasana asam (pH rendah) menjadi NH_3 dan CO_2 . Jika klorin merupakan oksidator, maka banyaknya NaOH yang dibutuhkan akan lebih besar karena pada reaksi selanjutnya sianat dapat dioksidasi menjadi CO_2 dan N_2 oleh kelebihan klorin.

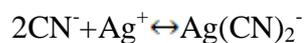


2.5.2 Metode Analisa untuk Penentuan Sianida

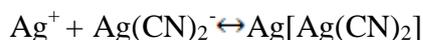
Untuk menentukan kadar sianida yang terdapat di dalam air dapat ditetapkan dengan beberapa metode antara lain:

1. Metode Titrasi

Titration lain dengan beberapa kepentingan praktis yang meliputi suatu ligan unidentat dan suatu ion logam adalah yang disebut titrasi Liebig dari sianida dengan perak nitrat. Dasar caranya adalah pembentukan ion kompleks yang sangat stabil $\text{Ag}(\text{CN})_2^-$.



Tetapan kesetimbangan untuk reaksi ini seperti tertulis kira-kira 10^{21} , dan ini merupakan satu-satunya kompleks perak-sianida dengan stabilitas yang menyolok. Semula titik akhir didasarkan atas penampilan kekeruhan akibat pengendapan perak sianida, yang dapat dituliskan sebagai:



(Day & Underwood, 1980).

2. Metode Potensiometri Secara Elektroda Ion Selektif

Persamaan Nernst memberikan hubungan antara potensial relatif suatu elektroda dan konsentrasi spesies ioniknya yang sesuai dalam larutan. Dengan pengukuran potensial reversibel suatu elektroda, maka perhitungan aktivitas atau konsentrasi suatu komponen dapat dilakukan (Khopkar, 2002).

Ion-selektif elektroda adalah salah satu dari beberapa metode yang dapat mengukur konsentrasi sianida bebas. Dalam metode ini, ion sianida dari larutan penyerap alkali yang diikuti dengan destilasi ditentukan perubahannya menggunakan elektroda ion-selektif CN^- dan pengukur beda potensial (volt meter). Konsentrasi dari ion sianida dalam larutan penyerap ditentukan dari perbandingan dalam kurva kalibrasi standar dari sianida vs potensial (mV). Metode elektroda sianida lebih sensitif sedikit dalam hal pendeteksian

dibandingkan metode kalorimetri. Rentang kalibrasi yang umum adalah antara 0,05 dan 10 mg/L (Dzombak, 2005).

3. Metode Kolorimetri Secara Spektrofotometri

Spektrofotometer merupakan instrumen yang digunakan dalam metode kolorimetri yang sangat penting dalam analisis kimia kuantitatif. Banyak kelebihan yang dimilikinya antara lain:

1. Dapat digunakan secara luas dalam berbagai pengukuran kuantitatif untuk senyawa-senyawa organik.
2. Kepekaannya tinggi karena dapat mengukur dalam satuan ppm.
3. Sangat selektif, bila suatu komponen X akan diperiksa dalam suatu campuran dengan mengetahui panjang gelombang maksimum hanya komponen X yang mengabsorpsi cahaya tersebut.
4. Lebih teliti karena hanya mempunyai persen kesalahan 1-3% bahkan mempunyai persen kesalahan 0,1%.
5. Mudah dan cepat, hal ini terutama sangat bermanfaat untuk pengukuran cuplikan dalam jumlah besar (Day & Underwood, 1983).

Apabila sinar polikromatis (sinar yang terdiri dari beberapa panjang gelombang) dilewatkan melalui suatu larutan, maka sinar dengan panjang gelombang yang lain dilewatkan dari larutan (Ewing, 1985).

Intensitas warna adalah salah satu faktor utama dalam penentuan konsentrasi suatu analit secara spektrofotometri. Pada analisa spektrokimia, spektrum radiasi elektromagnetik digunakan untuk menganalisa spesies kimia dan menelaah interaksinya dengan radiasi elektromagnetik. Radiasi dapat berinteraksi dengan spesies kimia, dan kita akan memperoleh informasi tentang spesies molekul zat tersebut, sehingga mengakibatkan beberapa panjang gelombang dari energi dapat diabsorpsi sedangkan panjang gelombang yang lain tidak ada (Strobel, 1973).

2.6 Pati

2.6.1 Pengertian Pati

Dalam bahasa sehari-hari (bahkan kadang-kadang di khazanah ilmiah), istilah pati kerap dicampuradukkan dengan tepung serta kanji. Pati (bahasa Inggris

starch) adalah penyusun (utama) tepung. Tepung bisa jadi tidak murni hanya mengandung pati, karena ter-/dicampur dengan protein, pengawet, dan sebagainya. Tepung beras mengandung pati beras, protein, vitamin, dan lain-lain bahan yang terkandung pada butir beras. Orang bisa juga mendapatkan tepung yang merupakan campuran dua atau lebih pati. Pati terdiri atas dua komponen yang dapat dipisahkan yaitu amilosa dan amilopektin (Harborne 1987).

Starch atau pati merupakan polisakarida hasil sintesis dari tanaman hijau melalui proses fotosintesis. Pati memiliki bentuk kristal bergranula yang tidak larut dalam air pada temperatur ruangan yang memiliki ukuran dan bentuk tergantung pada jenis tanamannya. Pati digunakan sebagai pengental dan penstabil dalam makanan.

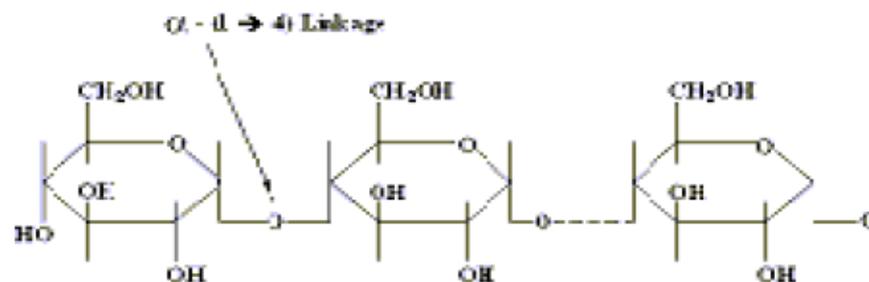
Pati alami (*native*) menyebabkan beberapa permasalahan yang berhubungan dengan retrogradasi, kestabilan rendah, dan ketahanan pasta yang rendah. Hal tersebut menjadi alasan dilakukan modifikasi pati (Fortuna, Juszczak, and Palansinski, 2001). Pati adalah polisakarida alami dengan bobot molekul tinggi yang terdiri dari unit-unit glukosa. Umumnya pati mengandung dua tipe polimer glukosa, yaitu amilosa dan amilopektin. Perbandingan amilosa dan amilopektin secara umum adalah 20% dan 80% dari jumlah pati total. Kedua jenis pati ini mudah dibedakan berdasarkan reaksinya terhadap iodium, yaitu amilosa berwarna biru dan amilopektin berwarna kemerahan.

Polisakarida seperti pati dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan *edible film*. Pati sering digunakan dalam industri pangan sebagai *biodegradable film* untuk menggantikan polimer plastik karena ekonomis, dapat diperbaharui, dan memberikan karakteristik fisik yang baik (Bourtoom, 2007). Ubi-ubian, sereal, dan biji polong-polongan merupakan sumber pati yang paling penting. Ubi-ubian yang sering dijadikan sumber pati antara lain ubi jalar, kentang, dan singkong (Liu, 2005 dalam Cui, 2005). Pati singkong sering digunakan sebagai bahan tambahan dalam industri makanan dan industri yang berbasis pati karena kandungan patinya yang cukup tinggi (Niba, 2006 dalam Hui, 2006).

2.6.2 Amilosa dan Amilopektin

Pati dapat dipisahkan dengan berbagai teknik menjadi dua fraksi, yaitu amilosa dan amilopektin. Amilosa dan amilopektin mempunyai sifat alami yang berbeda. Amilosa mempunyai berat molekul lebih kecil dan membentuk rantai linear yang panjang. Sebaliknya, amilopektin mempunyai bentuk molekul yang sangat besar dan padat.

Amilosa merupakan komponen penyusun pati dengan kadar sekitar 20-30% dan terdiri dari 50-300 unit glukosa yang membentuk rantai yang sinambung, dengan ikatan-1,4 sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Molekul Amilosa

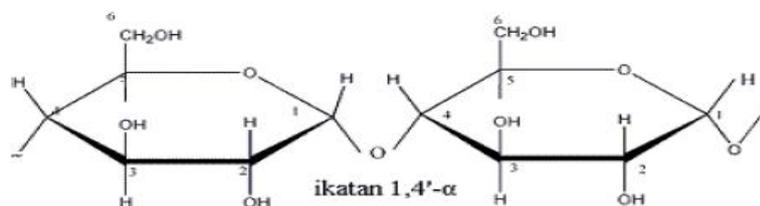
Sumber: Oates, 1997

Fraksi amilosa dalam pati memberikan kontribusi dalam karakteristik gel pada pemasakan atau pendinginan campuran pati. Amilosa dapat dipisahkan dari dispersi pati dalam air dengan gelatinisasi dan pencampuran larutan pati panas dengan butanol sebagai bahan pengompleks. Pada saat pendinginan terbentuk kristal kompleks amilosa-butanol yang kemudian dipisahkan dengan cara sentrifugasi.

Pemisahan dengan cara rekristalisasi kompleks amilosa-butanol akan menghasilkan amilosa murni. Amilosa dapat dilarutkan dalam air dengan penambahan basa kuat, formaldehid, atau dengan pemanasan dalam air pada suhu 150-160°C pada tekanan lebih daripada satu atmosfer. Pada saat pendinginan atau netralisasi, dispersi amilosa dengan konsentrasi lebih besar daripada 2% akan membentuk gel dan pada konsentrasi kurang dari 2% amilosa akan mengendap. Fraksi amilosa tidak dapat benar-benar terlarut dalam air dan pada waktu tertentu

akan membentuk kumpulan kristal dengan ikatan hidrogen. Proses ini dikenal dengan nama *retrogradation* atau *set back*.

Amilosa adalah polimer rantai lurus mengandung lebih dari 6000 unit glukosa yang dihubungkan dengan ikatan α -1,4. Amilosa bersifat tidak larut dalam air dingin tetapi menyerap sejumlah besar air dan mengembang. Amilopektin memiliki struktur bercabang dimana molekul-molekul glukosa dihubungkan dengan ikatan α -1,6 glikosidik. Amilopektin memiliki daya ikat yang baik, yang bisa memperlambat disolusi zat aktif.



Gambar 10. Struktur Kimia Amilosa

Sumber: Oates, 1997

Pada Gambar 10 merupakan struktur kimia amilosa. Amilosa adalah polimer linier dari α -D-glukosa yang dihubungkan dengan ikatan 1,4- α . Dalam satu molekul amilosa terdapat 250 satuan glukosa atau lebih. Amilosa membentuk senyawa kompleks berwarna biru dengan iodium. Warna ini merupakan uji untuk mengidentifikasi adanya pati.

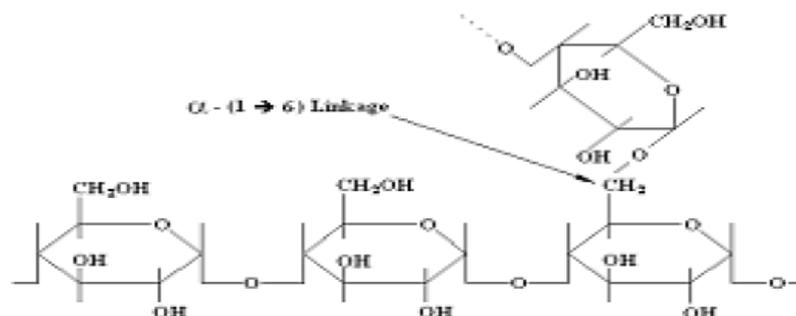
Amilosa merupakan fraksi gerak, yang artinya dalam granula pati letaknya tidak pada satu tempat, tetapi bergantung pada jenis pati. Umumnya amilosa terletak di antara molekul-molekul amilopektin dan secara acak berada selang-seling di antara daerah amorf dan kristal (Oates 1997). Pada Ketika dipanaskan dalam air, amilopektin akan membentuk lapisan yang transparan, yaitu larutan dengan viskositas tinggi dan berbentuk lapisan-lapisan seperti untaian tali. Pada amilopektin cenderung tidak terjadi retrogradasi dan tidak membentuk gel, kecuali pada konsentrasi tinggi (Belitz dan Grosch 1999).

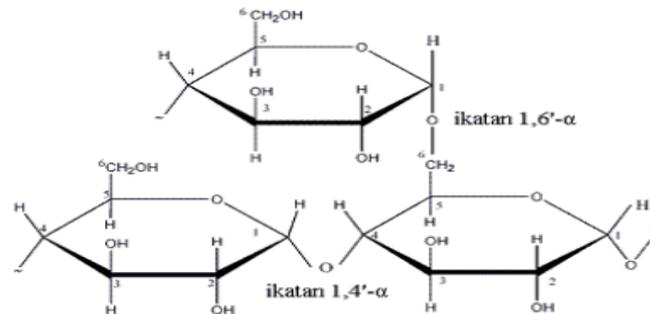
Pati penting dalam makanan terutama yang bersumber dari tumbuh-tumbuhan dan memperlihatkan sifat-sifatnya, pati terdapat dalam biji-bijian dan umbi-

umbian sebagai karakteristik granula pati, pati tidak manis, pati tidak dapat larut dengan mudah dalam air dingin, pati berbentuk pasta dan gel di dalam air panas, pati menyediakan cadangan sumber energi dalam tumbuhtumbuhan dan persediaan energi dalam bentuk nutrisi (Potter, 1986). Pati dihasilkan dari proses fotosintesis tanaman yang dibentuk di dalam daun dan amiloplas seperti umbi, akar atau biji dan merupakan komponen terbesar pada singkong, beras, sagu, jagung, kentang, talas, dan ubi jalar (Chandra, et al., 2013).

Pati merupakan senyawa polisakarida yang terdiri dari monosakarida yang berikatan melalui ikatan oksigen. Monomer dari pati adalah glukosa yang berikatan dengan ikatan (1,4)-glikosidik, yaitu ikatan kimia yang menggabungkan 2 molekul monosakarida yang berikatan kovalen terhadap sesamanya. Pati terdiri dari dua fraksi yang dapat dipisahkan dengan air panas. Fraksi terlarut disebut amilosa dan fraksi tidak larut disebut amilopektin. Polimer linier dari D-glukosa membentuk amilosa dengan ikatan (α)-1,4-glukosa. Sedangkan polimer amilopektin adalah terbentuk dari ikatan (α)-1,4-glukosida dan membentuk cabang pada ikatan (α)-1,6-glukosida (Chandra et al., 2013).

Komponen lain yang menyusun pati adalah amilopektin, yang mempunyai banyak cabang sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4. Meskipun setiap molekul amilopektin dapat mengandung 300 sampai 5000 unit glukosa, akan tetapi rantai dengan ikatan α -(1,4) yang berurutan hanya terdiri dari 25 sampai 30 unit glukosa saja. Rantai ini dihubungkan pada titik cabang lewat ikatan α -(1,6). Oleh karena strukturnya yang sangat bercabang ini, granula pati mengembang dan akhirnya membentuk sistem koloid dalam air.



Gambar 11. Molekul Amilopektin**Gambar 12.** Struktur Kimia Amilopektin

Sumber: Oates, 1997

Pada Gambar 12 struktur kimia amilopektin. Molekul amilopektin lebih besar dari amilosa. Strukturnya bercabang. Rantai utama mengandung α -D-glukosa yang dihubungkan oleh ikatan 1,4- α . Tiap molekul glukosa pada titik percabangan dihubungkan oleh ikatan 1,6- α .

2.7 Bahan Aditif

2.7.1 Pengertian Bahan Aditif

Bahan aditif adalah bahan yang digunakan untuk ditambahkan pada bahan polimer untuk meningkatkan sifat-sifat dan kemampuan pemrosesan atau untuk mengurangi biaya. Banyak bahan aditif anorganik atau organik yang sengaja dicampurkan dalam suatu bahan polimer untuk membentuk plastik yang berperan dalam meningkatkan dispersi permukaan matriks polimer serta dapat memperbaiki sifat mekanis dari bahan polimer, sehingga memiliki sifat-sifat mekanis yang lebih unggul. Pemilihan bahan pengisi yang sesuai dengan matriks bahan polimer menjadi suatu ketentuan yang diharuskan untuk mendapatkan suatu bahan polimer baru yang mempunyai sifat mekanis yang unggul (Wirjosentono,1996).

Bahan pengisi secara luas dapat menghasilkan perubahan berikut dari sifat-sifat termoplastik suatu matriks polimer antara lain :

1. Bertambahnya densitas

2. Bertambahnya modulus elastisitas, pemadatan dan pengerasan bahan
3. Berkurangnya penyusutan bahan

Pembuatan *film* layak makan dari pati (*starch*) memerlukan campuran bahan aditif untuk mendapatkan sifat mekanis yang lunak, ulet dan kuat. Untuk itu perlu ditambahkan suatu zat cair/padat agar meningkatkan sifat plastisitasnya. Proses ini dikenal dengan plastisasi, sedang zat yang ditambah disebut plasticizer (pemlastis). *Plasticizer* menurunkan kekuatan inter dan intra molekular dan meningkatkan mobilitas dan fleksibilitas *film* (Sanchez *et al.*, 1998). Semakin banyak penggunaan *plasticizer* maka akan meningkatkan kelarutan. Begitu pula dengan penggunaan *plasticizer* yang bersifat hidrofilik juga akan meningkatkan kelarutannya dalam air.

Di samping itu *plasticizer* dapat pula meningkatkan elastisitas bahan, membuat lebih tahan beku dan menurunkan suhu alir, sehingga *plasticizer* kadang-kadang disebut juga dengan ekstikator antibeku atau pelembut. Plastisasi akan mempengaruhi semua sifat fisik dan mekanisme *film* seperti kekuatan tarik, elastisitas kekerasan, sifat listrik, suhu alir, suhu transisi kaca dan sebagainya.

Adapun pemlastis yang digunakan adalah gliserol, gliserol memberikan kelarutan yang lebih tinggi dibandingkan sorbitol pada *edible film* berbasis pati (Bourtoom, 2007).

Serta karena gliserol merupakan bahan yang murah, sumbernya mudah diperoleh, dapat diperbaharui dan juga akrab dengan lingkungan karena mudah terdegradasi dalam alam.

Proses plastisasi pada prinsipnya adalah dispersi molekul pemlastis kedalam fase polimer. Jika pemlastis mempunyai gaya interaksi dengan polimer, proses dispersi akan berlangsung dalam skala molekular dan terbentuk larutan polimer pemlastis yang disebut dengan kompatibel.

Sifat fisik dan mekanis polimer terplastisasi yang kompatibel ini akan merupakan fungsi distribusi dari sifat komposisi pemlastis yang masing-masing komponen dalam sistem. Bila antara pemlastis dengan polimer dan pemlastis tidak kompatibel dan menghasilkan sifat fisik polimer yang berkualitas rendah.

Karena itu, karakteristik polimer yang terplastisasi dapat dilakukan dengan variasi komposisi pemlastis.

2.7.2 Mekanisme Plastisasi

Interaksi antara polimer dengan pemlastis dipengaruhi oleh sifat afinitas kedua komponen, jika afinitas polimer pemlastis tidak terlalu kuat maka akan terjadi plastisasi antara struktur (molekul pemlastis hanya terdistribusi diantara struktur). Plastisasi ini hanya mempengaruhi gerakan dan mobilitas struktur.

Jika terjadi interaksi polimer-polimer cukup kuat, maka molekul pemlastis akan terdifusi kedalam rantai polimer (rantai polimer amorf membentuk satuan struktur globular yang disebut *bundle*) menghasilkan plastisasi infrastruktur intra *bundle*. Dalam hal ini molekul pemlastis akan berada diantara rantai polimer dan mempengaruhi mobilitas rantai yang dapat meningkatkan plastisasi sampai batas kompatibilitas rantai yang dapat terdispersi (terlarut) dalam polimer. Jika jumlah pemlastis melebihi batas ini, maka akan terjadi sistem yang heterogen dan plastisasi berlebihan, sehingga plastisasi tidak efisien lagi (Wirjosentono, 1995).

2.7.3 Gliserol

Gliserol adalah salah satu senyawa alkil trihidroksi (Propra -1, 2, 3- triol) $\text{CH}_2\text{OHCHOHCH}_2\text{OH}$. Banyak ditemui hampir di semua lemak hewani dan minyak nabati sebagai ester gliserin dari asam palmitat, oleat, stearat dan asam lemak lainnya (Austin, 1985). Gliserol banyak dihasilkan dari industri kelapa sawit di Sumatera Utara, selama ini gliserol diperoleh dari residu kelapa sawit dan merupakan salah satu bahan baku yang memiliki potensi untuk dikembangkan menjadi produk yang memiliki nilai ekonomi tinggi.

Gliserol adalah senyawa yang netral, dengan rasa manis tidak berwarna, cairan kental dengan titik lebur 20°C dan memiliki titik didih yang tinggi yaitu 290°C gliserol dapat larut sempurna dalam air dan alkohol, tetapi tidak dalam minyak. Sebaliknya banyak zat dapat lebih mudah larut dalam gliserol dibanding dalam air maupun alkohol. Oleh karena itu gliserol merupakan pelarut yang baik (Anonymous, 11, 2006).

Senyawa ini bermanfaat sebagai anti beku (anti *freeze*) dan juga merupakan senyawa yang higroskopis sehingga banyak digunakan untuk mencegah kekeringan pada tembakau, pembuatan parfum, tinta, kosmetik, makanan dan minuman lainnya (Austin, 1985).

Gliserol banyak dihasilkan dari industri di Sumatera Utara, merupakan bahan baku yang sangat potensial untuk dikembangkan menjadi produk yang bernilai ekonomis tinggi. Gliserol dapat diperoleh dari pemecahan ester asam lemak dari minyak dan lemak industri oleokimia (Bhat, 1990).

Residu gliserol dari biodisel berbahan baku minyak kelapa sawit mentah (CPO) selama ini belum dapat dimanfaatkan secara optimal karena masih mengandung air dan bahan pengotor lainnya sampai 30%. Proses pemurnian gliserol residu tersebut telah diteliti Pusat Peneliti Kelapa Sawit (PPKS) di Medan dan menghasilkan gliserol komersial dengan kandungan gliserol mencapai 88% (Herawan, dkk, 2006). Akan tetapi nilai ekonomis gliserol komersial tersebut juga masih rendah karena pemanfaatannya sebagai bahan baku industri masih terbatas, yang berakibat pada rendahnya kelayakan ekonomis pabrik biodisel.

2.7.4 Pemanfaatan Gliserol dan Turunannya

Dewasa ini, sumber utama gliserol komersil diperoleh dari pengolahan minyak nabati, sebagai produk samping industri oleokimia dan juga dari industri pertokimia. Gliserol yang diperoleh ini hanya sebagai bahan baku industri dan masih merupakan sumber komoditas yang melimpah. Gliserol umumnya digunakan pada pembuatan bahan peledak, bahan pembasah atau pengemulsi produk kosmetik dan sebagai bahan anti beku. Sehubungan dengan terbatasnya diversifikasi produk olahan berbasis gliserol, maka harga jual komoditas gliserol masih tetap rendah, kecuali bila kebutuhan bahan peledak meningkat.

Dalam hal lain, sehubungan dengan stuktur gliserol yang mempunyai gugus alkohol primer dan gugus alkohol sekunder, maka akan memberikan banyak kemungkinan terjadinya reaksi untuk mengembangkan senyawa turunan alkohol ini (Finar, 1980). Misalnya, dengan menambahkan gugus asetal pada stuktur

gliserol akan dihasilkan senyawa surfaktan yang dapat terdegradasi oleh pengaruh bahan kimia atau dalam air dan oleh kegiatan mikroba (Piasecki, 2000).

Secara umum senyawa poliol (polihidroksi termasuk gliserol) dari berbagai sumber banyak dimanfaatkan untuk berbagai keperluan industri seperti dalam industri polimer, senyawa poliol banyak digunakan sebagai *plasticizer*. Senyawa poliol ini dapat diperoleh dari hasil industri petrokimia, maupun langsung dari transformasi minyak nabati dan olahan industri oleokimia. Dibandingkan dengan hasil industri petrokimia, senyawa poliol dari minyak nabati dan industri oleokimia dapat diperbaharui, sumber mudah diperoleh, dan juga akrab dengan lingkungan karena mudah terdegradasi dalam alam (Goudung, dkk, 2004).

2.8 Standar Pengukuran untuk Plastik *Biodegradable*

Pengujian sifat biodegradabilitas bahan plastik dapat dilakukan menggunakan enzim, mikroorganisme dan uji penguburan. Metode uji standar dan protokol diperlukan untuk menetapkan dan mengkuantifikasi degradabilitas dan biodegradasi polimer, dan konfirmasi dengan alam dengan breakdown produk. Standar telah dibangun atau dibawah pembangunan oleh Badan Standar Nasional Amerika (ASTM); Eropa(CEN), Jerman (DIN), Jepang (JIS) dan Organisasi Standar Internasional (ISO) untuk mengevaluasi dan mengkuantifikasi biodegradabilitas dibawah kondisi lingkungan/pembuangan yang berbeda seperti pengomposan, tanah, laut, limbah, dan anaerobic digester. Tidak ada perbedaan yang besar diantaranya. Standar ISO akan membawa semua standar tersebut dan menyediakan standar yang diterima secara global. (Narayan, 1999)

American Society for Testing Materials (ASTM) mengeluarkan “Standar Spesifikasi untuk Plastik Dapat Dikompos” D6400-99. Standar ini menetapkan kriteria(spesifikasi) untuk plastik dan produk yang dibuat dari plastik untuk diberi label dapat dikompos, termasuk biodegradasi pada tingkat yang sebanding dengan bahan yang diketahui dapat dikompos. (Narayan, 1999) Lembaga Standarisasi Internasional (ISO) telah mengeluarkan metode standar pengujian sifat biodegradabilitas bahan plastik sebagai berikut:

- a. ISO 14851 :Penentuan biodegradabilitas aerobik final dari bahan plastik dalam media cair-Metode pengukuran kebutuhan oksigen dalam respirometer tertutup
- b. ISO 14852 : penentuan biodegradabilitas aerobik final dari bahn plastik dalam media cair-Metode Analisa karbondioksida yang dihasilkan.
- c. ISO 14855 : Penentuan biodegradabilitas aerobik final dan disintegrasi dari bahan plastik dalam kondisi komposting terkendali-Metode Analisa karbondioksida yang dihasilkan.
- d. ASTM 5338 : Standar Internasional mengenai lamanya film plastik terdegradasi.